Chem.
225 rbd

Mayer

Chem. 225

VON

DR. ADOLF MAYER,

PROFESSOR UND VORSTAND DER HOLL. REICHSVERSUCHSSTATION IN WAGENINGEN.

ERSTER TEIL.

DIE ERNÄHRUNG DER GRÜNEN GEWÄCHSE

IN FÜNFUNDZWANZIG VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN
UND HÖHEREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND EINER
LITHOGRAPHIERTEN TAFEL.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.

HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.

Ankündigung.

Dies **„Lehrbuch der Agrikulturchemie"** hat sich anderen gegenüber die Aufgabe gestellt, seinen Gegenstand von einer breiteren wissenschaftlichen Grundlage aus zu behandeln. Es sind besonders die neuesten Resultate der gesamten Naturwissenschaften, die in demselben mit überraschendem Erfolge verwertet worden sind. Eine anregende Darstellung und eine fesselnde Sprache tragen außerdem dazu bei, dem Buche auch in weiteren Kreisen der naturwissenschaftlich Gebildeten eine bleibende Aufnahme zu sichern.

Die vierte verbesserte Auflage wird in zwei Teilen oder vier Abteilungen erscheinen, die enthalten sollen:

I. Teil: Die Ernährung der grünen Gewächse in fünfundzwanzig Vorlesungen.
II. Teil: I. Abteilung. Die Bodenkunde in zehn Vorlesungen.
II. Teil: II. Abteilung. Die Düngerlehre in zwölf Vorlesungen.
II. Teil: III. Abteilung. Lehrbuch der Gärungschemie.

Heidelberg.

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung.

«Der Verf. des vorliegenden wohlbekannten Lehrbuches nimmt unter den Vertretern der Agrikulturchemie insofern eine ganz eigenartige, originelle Stellung ein, als er, den in den betr. Kreisen fast allgemein eingenommenen einseitigen chemischen Standpunkt verlassend und unbekümmert um die künstlich gezogenen Grenzen seiner Wissenschaft, die ermittelten Thatsachen der gesamten Naturwissenschaften sowie der einschlägigen Gebiete der Volkswirtschaftslehre in logischer Aufeinanderfolge zu einem harmonischen Ganzen vereinigt und dadurch auf breitester, wissenschaftlicher Basis die Grundsätze ableitet, welche bei einer möglichst erfolgreichen Thätigkeit in der Pflanzenproduktion zu berücksichtigen sind. In Rücksicht auf die mannigfachen Kombinationen, in welchen die verschiedenen maßgebenden Wachstumsfaktoren unter den jeweiligen lokalen Verhältnissen ihre Wirkung geltend machen, wird offenbar die Wissenschaft nur dann eine nützliche Verwertung für die Praxis finden können, wenn sie alle Umstände und Verhältnisse einer kritischen Untersuchung unterzieht, die für die physische und wirtschaftliche Seite der landwirtschaftlichen Produktion in Betracht kommen. In dem Bestreben, in dieser Richtung nützliche Kenntnisse zu verbreiten, ist es dem Verfasser gelungen, in vorliegendem Lehrbuch der Agrikulturchemie ein Werk zu schaffen, welches sowohl seinem Inhalte nach, als auch bezüglich der Darstellung den Anforderungen der Wissenschaft gleichergestalt wie denjenigen der Praxis in vollkommenster Weise gerecht wird und unstreitig als das beste Buch auf dem in Rede stehenden Gebiete bezeichnet werden muß. In Betreff der Anordnung des Stoffs ist die neue Auflage von den vorhergehenden nicht unterschieden, dagegen hat Verf. die einzelnen Materien einer größeren Umarbeitung, entsprechend den in der Zwischenzeit gemachten Fortschritten in der Wissenschaft, unterzogen und den mehr praktischen Teilen der Agrikulturchemie, besonders der Bodenkunde und Düngerlehre, eine eingehendere Behandlung zu teil werden lassen.

Der Preis des Werkes muß in Ansehung der in Druck, Papier und Illustrationen vorzüglichen Ausstattung als ein sehr mäßiger bezeichnet werden.» *E. Wollny.*

(Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik.)

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

LEHRBUCH

DER

AGRIKULTURCHEMIE

IN VORLESUNGEN

VON

Dr. ADOLF MAYER.

ERSTER TEIL.

DIE ERNÄHRUNG DER GRÜNEN GEWÄCHSE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND EINER LITHOGRAPHIERTEN TAFEL.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.

HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.

DIE ERNÄHRUNG

DER

GRÜNEN GEWÄCHSE

IN FÜNFUNDZWANZIG VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN
UND HÖHEREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. ADOLF MAYER,

PROFESSOR UND VORSTAND DER HOLLÄNDISCHEN REICHSVERSUCHSSTATION IN WAGENINGEN.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN UND EINER
LITHOGRAPHIERTEN TAFEL.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.

HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Vorwort zur ersten Auflage.

Das vorliegende Buch sollte nach der Absicht des Verfassers eine Lücke ausfüllen, die sich zweifellos in unserer Litteratur befindet.

Trotz einer grossen Anzahl von umfangreichen, teilweise sehr verdienstlichen und erst in neuester Zeit verfassten Lehrbüchern der Agrikulturchemie, die zur Stunde vorliegen, fehlt es noch an einem solchen ganz und gar, welches *gleichzeitig* einen etwas strengeren wissenschaftlichen Charakter trüge, namentlich auch aus den neueren naturwissenschaftlichen Errungenschaften den möglichen Nutzen gezogen hätte, und in dem der richtige Ton und die methodische Behandlungsweise gefunden wäre, ohne welche ein Werk niemals zum *Lehrbuche* werden kann.

Diesen Mangel habe ich erst klar empfunden, als ich vor nun mehr als drei Semestern an der hiesigen Universität meine Vorlesungen über Agrikulturchemie begann und mich in die Lage versetzt sah, meinen Zuhörern ein Werk zu empfehlen, das ihnen zum Nacharbeiten des Vorgetragenen förderlich sein könnte. Empfehlenswertes fand sich da allerdings genug: für Hilfswissenschaften namentlich das ausgezeichnete Sachs'sche *Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen*, von eigentlichen Kompendien der Agrikulturchemie, die so anregend wirkenden Schriften Liebig's, das Knop'sche Lehrbuch mit seiner gediegenen Behandlungsweise, die Heiden'sche *Düngerlehre* mit ihren so vollständigen Litteraturangaben, endlich die populäre, aber klar gehaltene praktische Düngerlehre E. Wolff's und einige andere. — Aber keines von allen diesen Werken, und auch nicht mehrere von ihnen zusammen, konnten das geben, was zu geben ich für wünschenswert halten musste, und ich glaube, man wird dies verstehen, wenn man sich über die Erfordernisse eines Lehrbuches sowohl, als auch darüber klar geworden ist, dass, wie ich zu zeigen versuchen werde, die neuesten Resultate der mit Riesenschritten fortschreitenden naturwissenschaftlichen Forschung noch sehr spärliche Anwendung in den physiologischen Wissenschaften und namentlich auf die Theorie der Pflanzenernährung gefunden haben, wohl aber deren fähig sind.

Ich muss mich hier in Hinsicht dieser beiden Punkte auf einige Andeutungen beschränken und verweise für ihre Begründung kurzweg auf den Inhalt des vorliegenden Buches, da hier der klarsten Darlegung jener Mängel doch kein Wert beigemessen werden könnte, wenn es mir dort nicht gelungen ist, sie teilweise zu beseitigen.

Bezüglich des ersten Punktes gestatte man mir wieder einmal die Frage aufzuwerfen, über die man sich häufig allzuwenig Rechenschaft ablegt, was denn eigentlich ein Lehrbuch leisten soll? — Es soll doch wohl mehr sein als eine noch so vollständige Sammlung von Resultaten der wissenschaftlichen

Forschung. Diese sind doch nur das *Lehrmaterial*, und nicht in der Kenntnis dieses liegt die geistige Durchbildung, zu welcher das Studium irgend einer Wissenschaft verhilft, und welche bleibt und uns zu urteilen befähigt, auch wenn das Wissen, welches an den Fingern hergezählt werden kann, längst wieder verschwunden ist. Jene entspringt vielmehr vielleicht ausschliesslich aus der Verstandesarbeit, welche zur Bewältigung jenes Materials notwendig ist, und ist also begründet in den Methoden des Denkens, die dabei Anwendung gefunden haben und durch welche der Geist des Lernenden geübt wird.

Dies darf natürlich und wird auch nicht so verstanden werden, als sei die weitere Schärfung der Denk- und Urteilskraft der einzige Zweck eines jeden Spezialwerks, der behandelte Stoff nur das Mittel zu demselben. Gewiss nicht. — Eine bestimmte Summe von Kenntnissen muss natürlich unter allen Umständen in einem solchen Werke gegeben werden, damit dasselbe nicht ganz und gar den Charakter des Lehrbuches einer bestimmten Disziplin einbüsst. — Allein dies zu betonen ist unnötig, da man nie dagegen verstossen hat, während jener andere Gesichtspunkt oft ausser Augen gelassen worden ist.

Es ist wohl keinem Zweifel unterworfen, dass es für die Zwecke eines Lehrbuches weit schädlicher ist, wenn man gegen den eben hervorgehobenen Grundsatz sündigt, als wenn das mitgeteilte Material ein lückenhaftes ist, — dass es schädlicher für den Lernenden ist, wenn er nach der gegebenen Darstellung im Unklaren bleiben muss, auf welchem Wege der Forschung ein gegebenes Resultat gewonnen worden ist, als wenn er eine Anzahl dieser Resultate überhaupt nicht kennt; denn von seiner Auffassung ist es abhängig, ob bei ihm ein solches Resultat, und unter welchen Umständen es wieder durch wissenschaftliche Neuerungen über den Haufen geworfen werden kann, oder ob es so feststeht, dass umgekehrt die neuen Ergebnisse an ihm gemessen werden können. Wird dagegen der Lernende durch eine unmethodische Behandlung des Stoffs dazu verleitet, alle gegebenen Sätze als einander gleichberechtigt wie die Dogmen eines Katechismus gedankenlos seinem Gedächtnisse einzuprägen, so wird offenbar der Zweck des Lehrbuches gänzlich verfehlt; denn eine jede kleine Neuerung wird in seinen Augen das Fundament des ganzen Lehrgebäudes erschüttern, wenn er nicht vorzieht, auf die Autorität des Buches schwörend, gegen jeden weiteren Zuwachs der Erkenntnis Front zu machen.

Dies in meinen Augen unerlässliche Erfordernis eines wirklichen Lehrbuches, wodurch es sich gerade hauptsächlich von den sogenannten Handbüchern unterscheidet, welche für Leute von schon erlangter wissenschaftlicher Durchbildung, denen gegenüber jene Besorgnisse ungerechtfertigt erscheinen, geschrieben werden, dagegen auf eine grosse Vollständigkeit Anspruch machen, und für die eine mehr encyklopädische Behandlungsweise passend erscheint, macht es zu einer verhältnismässig schwierigen Aufgabe, ein solches zu schreiben, wobei in betreff unseres Gegenstandes ganz besonders zu berücksichtigen ist, dass die einseitige Anwendung der induktiven Methode in den Naturwissenschaften, welche seit der Auflehnung dieser gegen die metaphysischen

Irrtümer unserer Naturphilosophen mit pedantischer Ausschliesslichkeit Sitte geworden ist, und wogegen eine heilsame Reaktion erst anfängt, Geltung zu gewinnen, einen Überblick über den Ursprung unserer Erkenntnis und die Kompetenz unserer Forschungsmethoden ausserordentlich erschwert, ganz abgesehen von dem einseitigen Bildungsgang, den speziell die Agrikulturchemiker bisher zu gehen gewohnt waren und der zur Gewinnung eines freieren Blickes ein möglichst ungünstiger gewesen ist.

Was dann jenen anderen Punkt betrifft, so glaube ich, dass die Unterlassung der umsichtigen Ausnutzung neuer naturwissenschaftlichen Errungenschaften für die Agrikulturchemie, die bei näherem Hinblick ganz auffällig erscheint, hinsichtlich ihrer Ursache gleichfalls auf die zuletzt namhaft gemachte Thatsache zurückgeführt werden kann. — Ich hoffe im Texte unter anderem nachzuweisen, dass in unserer Wissenschaft eine Reihe von Theoremen Verbreitung und Glauben gefunden hat, die z. B. geradezu dem Gesetze der Erhaltung der Kraft widersprechen, d. h. also, dass dieses Gesetz bis jetzt keine durchgehende Anwendung in den physiologischen Problemen der Agrikulturchemie gefunden hat, obgleich dasselbe für sie, wie für eine jede vorwiegend naturwissenschaftliche Disziplin von der allertiefgreifendsten Bedeutung ist. In gleicher Weise verdient wohl die neuere Entwicklung der organischen Chemie mit der Einsicht, die sie verbreitet in die Konstitution der chemischen Verbindungen und die wahrscheinliche Umlagerung ihrer verschiedenwertigen Atome (worauf jüngst A. Baeyer hingewiesen hat), in den physiologischen Wissenschaften eine erhöhte Beachtung.

Neben der Berücksichtigung dieser und anderer naturwissenschaftlichen Ergebnisse ist es aber für eine Disziplin, welche wie die Agrikulturchemie überall mit der gewerblichen Praxis in Berührung kommt, ganz unerlässlich, sich auch des Studiums der wichtigsten Grundsätze der Wirtschaftslehre etwas mehr zu befleissigen. Die Schlussbetrachtungen des zweiten Teiles des vorliegenden Buches werden z. B. zu zeigen versuchen, dass die Düngerlehre mit Beachtung der Gesetze jener Grenzwissenschaft ein ganz anderes Aussehen gewinnt, als wenn man die dort zu erledigenden Fragen von dem einseitigen naturwissenschaftlichen Standpunkte aus behandelt.

Ich muss mich, wie gesagt, hier mit diesen wenigen Andeutungen begnügen. Vielleicht sind dieselben aber ausreichend, um bei einigem Nachdenken jene tiefe Lücke empfinden zu lassen, welche unsere so reichhaltige Litteratur noch offen lässt, ohne dass damit ein Schatten des Tadels auf jene anderen Werke, die ich teilweise sehr hoch stelle und die mir fast samt und sonders von grossem Nutzen gewesen sind, geworfen werden soll. — Eine ganz andere Frage als die nach dem Bedürfnis eines solchen Werkes, wie ich es zu schreiben beabsichtigte, ist freilich jene, ob meine Arbeit jene Lücke auch nur teilweise auszufüllen im stande ist. — In der That, wenn ich das nun abgeschlossene Buch mit dem vorgezeichneten für eine unerprobte Kraft so kühnen Plane zu demselben vergleiche, so erscheint mir dasselbe in mehr

als einer Beziehung unfertig und lückenhaft, und ich darf mir nicht verhehlen, dass das „Vollbringen“ weit hinter dem „Wollen“ zurückgeblieben ist, und in der That nur das Bewusstsein von der verhältnismässigen Schwierigkeit der gewählten Aufgabe, von der Mangelhaftigkeit alles menschlichen Thuns und dann vor allem die Hoffnung auf eine offene und rein sachliche Kritik von seiten meiner Fachgenossen, welche mir möglich machen wird, in Zukunft die Arbeit zu ergänzen, hat die Besorgnis einigermaassen gemildert, mit welcher ich das Buch der Öffentlichkeit übergebe. — Ich brauche deshalb nicht hinzuzusetzen, dass ich für Einwürfe, Berichtigungen und Zusätze aller Art mich dankbar erweisen werde, wie ich denselben vielmehr mit Bestimmtheit entgegensehe.

Vermutlich wäre es noch manchem gegenüber notwendig, die für das Buch gewählte äussere Form zu rechtfertigen, um so mehr als erst kürzlich um derselben willen ein verdienstvolles chemisches Werk Angriffe hat erfahren müssen und dieselbe überhaupt in Deutschland eine ungewohnte ist. Ich kann zur Rechtfertigung dieser „Vorlesungsform“ nichts anderes anführen, als dass ich dieselbe gerade für den vorliegenden Zweck für sehr angemessen erachtet habe, da sie eine freiere und darum anziehendere Redeweise erlaubt und, wo es sich um Vorführung von Versuchen handelt, die Phantasie in angenehmer Weise erregt, — weil sie weiter für den Lehrer, der sich des Buches bedienen sollte, eine durchaus naturgemässe Stoffeinteilung bietet und dem Lesenden bequeme Ruhepunkte gestattet. — Indessen bin ich gerne bereit, zuzugeben, dass dies Geschmacksache ist. Die direkte Anrede, die am störendsten bei der Vorlesungsform gefunden wird, ist durchaus vermieden worden, und so spreche ich die entschiedene Hoffnung aus, dass man sich mit dieser äusseren Behandlungsweise befreunden wird.

Einer ferneren Begründung bedarf vielleicht die Wahl der sogenannten neuen Atomgewichte an den wenigen Stellen, wo ich mich überhaupt chemischer Formeln bedient habe. Ich bin aber bezüglich dieses Punktes nach reiflicher Überlegung (und erst nach der zweiten Überarbeitung) schliesslich zu dem Resultate gekommen, dass in Anbetracht dessen, dass die jetzt heranwachsende wissenschaftliche Jugend in den chemischen Vorlesungen und den jetzt maassgebenden Lehrbüchern dieses Faches kaum je noch eine „alte“ Formel zu sehen bekommt, nun ungefähr die Zeit gekommen ist, wo auch die physiologischen Wissenschaften ihren in diesen Dingen allzu konservativen Sinn ändern und aufhören sollten, dem Studierenden zuzumuten, in späteren Jahren, wenn er anfängt, sich mit den angewandten Wissenschaften zu befassen, zu einer ihm fremden und aus guten Gründen verlassenen Schreibweise zurückzukehren. Übrigens habe ich an mehreren Orten, wo mir dies tauglich erschien, „alte“ Formeln (dann aber immer mit dem ausdrücklichen Bemerken als solche) neben die neuen gesetzt.

Die Bearbeitung und Ernährung der höheren Tiere und der Gärungsorganismen — eines Gegenstandes, den ich bei der Einteilung meines Vorlesungsstoffes der Ernährung der grünen Gewächse (aus in der Einleitung

gegebenen Gründen) gegenüberzustellen pflege — gleichzeitig mit der Bearbeitung dieses letzteren Stoffes vorzunehmen, habe ich mich deshalb nicht entschliessen können, weil wir über Tierernährung ausgezeichnete und dem Bedürfnisse ziemlich vollständig entsprechende Werke (ich erinnere z. B. an das Kühn'sche „Die zweckmässigste Ernährung des Rindviehs etc.“) besitzen, weil andererseits die Theorie der Ernährung der Gärungsorganismen noch so in der frühesten Kindheit sich befindet, dass die Ausarbeitung eines Lehrbuches auch für diesen Gegenstand vorläufig noch als unzeitgemäss erscheint.

Ich erfülle schliesslich eine angenehme Pflicht, wenn ich meinen Freunden Prof. Dr. C. W. C. Fuchs, Dr. A. Horstmann und besonders Dr. N. J. C. Müller auch noch öffentlich für ihre Bereitwilligkeit danke, mit der sie mich mit ihren reichen Kenntnissen auf dem Gebiete der von ihnen bebauten Disziplinen in meiner Aufgabe unterstützt haben. Ich habe dabei so recht den reichen Segen empfunden, den für eine jede wissenschaftliche Leistung die Gemeinschaft einer *Universitas litterarum* zu gewähren vermag.

Heidelberg 1870.

Vorwort zur vierten Auflage.

Der Zeitraum von beinahe neun Jahren, welcher mit dem Erscheinen der dritten Auflage verstrichen ist, hat natürlich bei dem erfreulich raschen Fortschreiten der Naturwissenschaften in unseren Tagen eingreifende Veränderungen in dem Inhalte der „Vorlesungen“ notwendig gemacht und mehrfach ist bei dem Verfasser derselben die Frage aufgetaucht, ob es noch thunlich sei, wieder neuen Wein in die alten Schläuche zu füllen. Dass er sich doch hierzu entschlossen hat, ist schliesslich ausser dem Umstande, dass für das Bedürfnis der stets mehr aufblühenden Lehranstalt, an welcher er selber dociert, dauernd gesorgt werden musste, noch die Überzeugung schuld, dass die alte Form vielen Lesern lieb geworden ist und man in grossen Kreisen ungern deren Tausch gegen etwas Neues und Unerprobtes gesehen hätte.

Im theoretischen Teile „der Ernährung der grünen Gewächse“ mussten hauptsächlich die glänzenden und epochemachenden Entdeckungen, welche von Hellriegel ihren Ausgang genommen haben, und dann die Resultate von den Studien von Tollens cum suis über die Konstitution der Kohlenhydrate eingetragen werden; dadurch ist mehrfach die alte Form zersprengt worden und neue Vorlesungen mussten eingeschaltet werden. Aber auch im übrigen, auch in der Bodenkunde und Düngerlehre, welche jetzt als selbständige Abteilungen des zweiten Teils des Werks erscheinen sollen, hat der Verfasser getrachtet, mehr als dies bei der dritten Auflage möglich war, neue wissenschaftliche Ergebnisse ein- und Veraltetes auszuschalten.

Wageningen, im Dezember 1894.

Adolf Mayer.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Abschnitt.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanze.

Erste Vorlesung, p. 3—18.

Einleitung. Was ist Agrikulturchemie? — Anordnung des zu behandelnden Gegenstandes. — *Die Produktion von organischer Substanz.* Nachweis dieser Produktion. — Definition von organischer Substanz. — Das Wesen dieser Produktion. — Bedingungen dieser Produktion. — Die chlorophyllhaltige Zelle. — Bau des Chlorophyllorgans.

Zweite Vorlesung, p. 19—35.

Die Produktion von organischer Substanz. (Fortsetzung.) Weitere Bedingungen dieses Prozesses. — Die chemische Arbeit. — Abhängigkeit von Wärme und Licht. — Die Arbeitskraft. — *Die chemische Arbeit des Lichts.* Experimenteller Nachweis. — Geschichtliche Reihenfolge der einschlägigen Entdeckungen.

Dritte Vorlesung, p. 36—52.

Die Produktion von organischer Substanz. (Fortsetzung.) Die verschiedenen Strahlengattungen. — *Welche Strahlen leisten diese Arbeit?* Versuch einer deduktiven Beantwortung. — Scheinbarer Widerstreit. — Die Fluorescenz des Chlorophylls. — Irdische Lichtquellen.

Vierte Vorlesung, p. 52—68.

Die Produktion von organischer Substanz. (Fortsetzung.) Theorie der Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle. — Die Rolle des Chlorophylls. — Resultate der chemischen Untersuchung des Chlorophyllfarbstoffs. — *Die produzierte organische Substanz.* Die Bedingungen des Entstehens des Chlorophylls und sonstige Existenzbedingungen desselben.

Fünfte Vorlesung, p. 68—82.

Die Produktion von organischer Substanz. (Schluss.) Die etiolierte Pflanze. — *Allgemeinere Betrachtungen.* Beziehungen der grünen Pflanzenwelt zur Tierwelt. — Beziehungen derselben zum wirtschaftlich verfügbaren Vorrat an Arbeitskraft. — Aufnahme organischer Substanzen durch chlorophyllgrüne Pflanzen. — Resultate der bisherigen Betrachtungen.

Sechste Vorlesung, p. 82—97.

Wanderung der organischen Substanz. Die Stärkemehlwanderung. — Experimenteller Nachweis derselben. — Die Theorie derselben. — *Umwandlungen der organischen Substanzen ineinander.* Die Bedeutung dieser Einrichtungen für das Pflanzenleben.

Siebente Vorlesung, p. 98—114.

Die Pflanzenatmung. Atmung der grünen Pflanze. — *Beziehung der Atmung zur Stoffumwandlung.* Wärmeentwicklung infolge der Atmung.

Achte Vorlesung, p. 114—129.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanze. Die Kohlenhydrate.

Neunte Vorlesung, p. 129—142.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanze. (Fortsetzung.) Anhang zu den Kohlenhydraten. — Die Fette, Wachse und dergleichen.

Zehnte Vorlesung, p. 143—156.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanze. (Schluss.) Andere sauerstoffarme organische Substanzen. — Die Farbstoffe, Glycoside etc. — Die Pflanzensäuren. — Zusammenfassung der Resultate.

Zweiter Abschnitt.

Die stickstoffhaltigen Bestandteile der Pflanze.

Elfte Vorlesung, p. 159—173.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen. Die stickstoffhaltige organische Substanz ist der Pflanze unentbehrlich. — Entstehung der stickstoffhaltigen organischen Substanz. — Die Stickstoffaufnahme der Pflanze. — *Die Pflanze und der freie atmosphärische Stickstoff.* — Der freie atmosphärische Stickstoff ist im allgemeinen unfähig, die Pflanze zu ernähren. — Die Salpetersäure-Verbindungen sind Nahrungsmittel der höheren grünen Pflanze.

Zwölfte Vorlesung, p. 173—188.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen. (Fortsetzung.) Die Ammoniak-Verbindungen sind Nahrungsmittel derselben. — Die Aufnahme stickstoffhaltiger organischer Stoffe durch die Pflanze. — Die natürlichen stickstoffhaltigen Nährstoffe der grünen Pflanze. — Entstehung und Zerstörung des gebundenen Stickstoffs in der Natur. — Abhängigkeit der Pflanzenwelt vom Vorrat an gebundenem Stickstoff. — Vermehrung und Verminderung dieses Vorrats durch menschliche Thätigkeit.

Dreizehnte Vorlesung, p. 189—203.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen. (Fortsetzung.) *Die Stickstoffquellen für die Pflanzen in der Natur.* Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an gebundenem Stickstoff. — Die natürliche Stickstoffzufuhr und der Bedarf der Pflanze an Stickstoff. — Die Hellriegel'schen Versuchsresultate.

Vierzehnte Vorlesung, p. 203—217.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen. (Fortsetzung.) Die Stickstoffassimilation der Schmetterlingsblütigen. — Resultate der vier letzten Vorlesungen.

Fünfzehnte Vorlesung, p. 217—235.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen. (Schluss.) *Die stickstoffhaltigen organischen Bestandteile der Pflanzen.* — Die einzelnen Proteïnstoffe. — Die Enzyme der Pflanze. — Amidoverbindungen. — Die Pflanzenalkaloïde. — Die Ergebnisse dieser Vorlesung.

Dritter Abschnitt.

Die unverbrennlichen Bestandteile der Pflanze.

Sechzehnte Vorlesung, p. 239—256.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. Die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile für die Pflanze. Die Methode des Nachweises der Unentbehrlichkeit. — Geschichtlicher Gang der Beweisführung. — Wasserkultur und andere Kulturmethoden.

Siebzehnte Vorlesung, p. 257—276.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. (Fortsetzung.) Die einzelnen Aschenbestandteile. — *Die Metalloïde der Pflanzenasche.* Der Schwefel. — Der Phosphor. — Das Silicium. — Das Chlor.

Achtzehnte Vorlesung, p. 277—296.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. (Fortsetzung.) *Die Metalle der Pflanzenasche.* Das Kalium. — Das Natrium. — Das Calcium. — Das Magnesium. — Das Eisen. — Andere seltenere Aschenbestandteile.

Neunzehnte Vorlesung, p. 296—312.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. (Schluss.) Die künstlichen Nährstoffgemische. — *Allgemeinere Betrachtungen.* Die sogenannte Vertretung der Aschenbestandteile untereinander. — Das sogenannte Gesetz des Minimums. — *Aschentabellen.* — Die Resultate der vier letzten Vorlesungen.

Vierter Abschnitt.

Die Gesetze der Stoffaufnahme.

Zwanzigste Vorlesung, p. 315—334.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. Theorie der Membrandiffusion. Die Gasdiffusion. — Die Gasdialyse. — Die Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten.

Einundzwanzigste Vorlesung, p. 335—356.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. (Fortsetzung.) *Der Gasaustausch der Pflanzen.* Der Gasaustausch der Luftpflanze. — Die Wasserverdunstung der Luftpflanze. — Die Kondensation von Wassergas durch die Pflanze. — *Die rein osmotische Stoffaufnahme.*

Zweiundzwanzigste Vorlesung, p. 356—371.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. (Fortsetzung.) *Die bei der Stoffaufnahme der Luftpflanze zusammenwirkenden Erscheinungen.* Die Wurzelkraft. — Die Transpirationskraft. — Die Saftsteigung.

Dreiundzwanzigste Vorlesung, p. 371—391.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. (Schluss.) *Die Stoffaufnahme durch die Wurzel der Luftpflanze.* Das sogenannte Saussure'sche Gesetz. — Neuere Untersuchungen. — Wurzelausscheidungen. — Die Aufnahme von tropfbar flüssigem Wasser durch die oberirdischen Organe. — Die selbstthätige Überführung ungelöster Körper in die Wurzel. — Die neugewonnenen Resultate.

Fünfter Abschnitt.

Sonstige Vegetationsbedingungen.

Vierundzwanzigste Vorlesung, p. 395—408.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. Abhängigkeit des Pflanzenlebens von Wärmeverhältnissen. Abhängigkeit einzelner physiologischer Prozesse von der Temperatur. — Das Erfrieren der Pflanzen.

Fünfundzwanzigste Vorlesung, p. 408—424.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. (Schluss.) Abhängigkeit des Pflanzenlebens von den wirklich bestehenden Temperaturverhältnissen. — Frostschutzmittel. — Weitere Beziehungen des Lichts zur Pflanze. — Die Elektrizität und die Pflanze. — Die Wärmesummen. — Die neugewonnenen Resultate.

Erster Abschnitt.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanzen.

BAYERISCHE
STAATS-
BIBLIOTHEK
MUENCHEN

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Die Produktion von organischer Substanz.

Man ist gewohnt, die Vorträge über eine Wissenschaft mit der Definition dieser letzteren zu beginnen, und so bin auch ich wohl verpflichtet, anzugeben, ehe auf die Gegenstände, die hier abgehandelt werden sollen, näher eingegangen wird, in welchem Zusammenhange dieselben miteinander stehen, welche wissenschaftliche Disziplin sie in ihrer Gesamtheit ausmachen. Es scheint eine solche präzisere Bezeichnung des hier Abzuhandelnden geradezu notwendig, wenn man bedenkt, in welch verschiedener Weise der Name der Wissenschaft, der auf den Titel dieses Buches gesetzt worden ist, schon angewendet und verstanden worden ist.

Häufig hat man sich darauf beschränkt, unter *Agrikulturchemie* die Lehre von den Naturgesetzen des *Feldbaus,* also nur dieses einen Elementes des praktischen landwirtschaftlichen Betriebs zu verstehen. Ich pflege nun zwar in dem Gebrauch dieses Wortes, wie dies auch sonst vielfach geschieht, etwas weiter zu gehen, und unter *Agrikulturchemie*, ohne weitere Rücksicht auf die ursprüngliche Bedeutung des Wortes, die *Wissenschaft der physischen Erscheinungen, die für das Gedeihen der landwirtschaftlich wichtigen Organismen in Betracht kommen*, oder auch kurzweg deren *Ernährungslehre* zu verstehen, d. h. also auch die naturwissenschaftliche Grundlage der Viehzucht, des Brennereibetriebes etc. unter jener Disziplin mit inbegriffen zu betrachten, wenn auch in *diesen* Vorträgen hier zunächst nur von jenen ersteren Erscheinungen gehandelt werden soll.

Nach dieser näheren Bezeichnung des Gegenstandes, mit dem sich die *Agrikulturchemie* beschäftigt, versteht es sich von selbst, dass es — obgleich man dies von vornherein wohl anzunehmen berechtigt wäre — nicht etwa die *Chemie allein* ist, die aus der Zahl der Naturwissenschaften zur Erklärung der für die Landwirtschaft wichtigen Ernährungserscheinungen herbeigezogen wird. Man ist vielmehr dazu befugt, die wissenschaftliche Bearbeitung von landwirtschaftlichen Fragen in der Agrikulturchemie mittelst ganz anderer naturwissenschaftlichen Disziplinen, mögen sie nun Physik, Mineralogie, Pflanzenphysiologie oder Tierphysiologie heissen, vorzunehmen, ohne dass man damit das Gebiet jener Wissenschaft verlässt.

Die komplexen physischen Erscheinungen auf dem Gebiet der Landwirtschaft lassen vielfach gar keine pedantisch gesonderte Trennung der einzelnen Hilfswissenschaften zu, und wer mit dem Vorsatz, nur eine einzige dieser zu einem Erklärungsversuch zu benutzen, an die Aufgaben, wie sie von der praktischen Landwirtschaft gestellt werden, herantreten wollte, der würde in den meisten Fällen ganz und gar

nichts auszurichten im stande sein. Wir werden sogar häufig im Laufe unserer Darstellung uns von dem Schaden überzeugen, den eine einseitige vom Standpunkt einer einzigen Hilfswissenschaft ausgehende Behandlung der betreffenden Fragen im Gefolge gehabt hat, und dies geht sogar zuweilen so weit, dass zur Erledigung mancher Gegenstände Übergriffe in der Chemie sehr ferne stehende Disziplinen (z. B. einzelne Zweige der Wirtschaftslehre) ganz unerlässlich sind, — Übergriffe, die von dem engen Standpunkt einer völlig durchgeführten Kastenordnung der Wissenschaften und ohne jene praktische Rücksichten als unverzeihlich erscheinen müssten.

Diese der Natur der Dinge entsprechende Erweiterung des Arbeitsgebiets der *Agrikulturchemie* im Laufe ihrer Entwicklung ist derselben denn auch ziemlich allgemein zugestanden worden*), und so ist der Name der Wissenschaft, mit der wir uns in diesen Vorträgen beschäftigen werden, mehr von historischer Bedeutung, als dass er den Stand, das Forschungsgebiet und die Forschungsmethode derselben noch heute in präziser Weise bezeichnete; er zeigt an, dass es die *Chemie* von allen Hilfswissenschaften *zuerst* gewesen ist, die sich eine beratende Stimme in Bezug auf die Maassregeln der Landwirtschaft erworben hat. Man könnte streng genommen ebensogut reden von einer *Agrikulturphysik*, von einer *Mineralogie*, einer *Pflanzenphysiologie im Dienste der Agrikultur etc.* — Den Inbegriff aller dieser verschiedenartigen Wissenszweige, soweit sie zu jenem Zwecke ausgebeutet werden, nenne ich nach dem Vorgange anderer der Einfachheit wegen noch immer *Agrikulturchemie,* da es wohl schwierig sein möchte, eine Bezeichnung ausfindig zu machen, welche die Gesamtheit jener nun einmal aus praktischen Rücksichten nicht zu trennenden Disziplinen erschöpfend ausdrückte.

Es braucht nach dem Gesagten nicht mehr ausgesprochen zu werden, dass die Agrikulturchemie zu den *angewandten* und nicht zu den sogenannten *reinen* Wissenschaften gehört. Allein ich möchte hier noch den Unterschied scharf hervorheben, der zwischen einer reinen und einer angewandten Wissenschaft, oder wie Comte in seinem „Cours de philosophie positive“ sich in ähnlicher Absicht ausdrückt, zwischen einer abstrakten und einer konkreten Wissenschaft besteht, um den Sinn dieser Unterscheidung verständlich zu machen. Der Unterschied, der hinsichtlich

*) Eine Reaktion gegen diese Auffassung begann sich allerdings zu Ende der 70er Jahre in Deutschland geltend zu machen, und dieselbe geht so weit, die ganze Agrikulturchemie wieder in ihre Elemente auflösen zu wollen und ihre Erbschaft zu verteilen zwischen reiner Chemie, Pflanzenphysiologie und praktischen landwirtschaftlichen Fächern. Diese Auffassung, deren Ursprung ich wohl zu erkennen glaube, hat — rein theoretisch gesprochen — natürlich ihre Berechtigung, und zweifellos ist unsere Disziplin mehr von historischer als von bleibender Bedeutung. Ob aber die Mission der Agrikulturchemie schon erfüllt ist, darüber kann man zweierlei Ansicht sein. Ja, wenn man sieht, wie der ganze moderne Fortschritt der Düngerlehre niemals von der reinen Chemie oder der Physiologie, höchst selten einmal von einem theoretisch geschulten Landwirte, sondern immer wieder von den eigentlichen Agrikulturchemikern ausgeht: dann muss man wohl in Zweifel ziehen, ob jene doktrinäre Auffassung und im besondern ihre Anwendung auf die landwirtschaftliche Hochschule in Berlin eine glückliche gewesen ist. Thatsächlich hat man dort auch bei der Neubesetzung der Professur für Chemie im Jahre 1891 in Abweichung von dem soeben erörterten Prinzip wieder zu einem praktisch geschulten Agrikulturchemiker seine Zuflucht genommen.

des Gegenstandes und der Methoden zwischen beiden Klassen von Wissenschaften besteht, lässt sich vielleicht am zutreffendsten dadurch charakterisieren, dass man sagt, bei den reinen Wissenschaften sei das Forschungsgebiet ein unbegrenztes, die Forschungsmittel aber in einem gewissen Sinne begrenzt, bei den angewandten Wissenschaften sei gerade das Umgekehrte zu bemerken.

Chemie und Physik sind *„reine"* physische Wissenschaften. Eine jede physische Erscheinung, sie mag eines beliebigen Ursprungs in Bezug auf Ort, Zeit, Materie und Kraft sein, kann Gegenstand dieser Wissenschaften werden. Hier ist keine Schranke. — Aber eine und dieselbe Erscheinung wird von beiden Wissenschaften *in verschiedener Richtung* ausgebeutet. Die Chemie fragt nach der Ursache der stofflichen Verschiedenheit, die Physik nach der Ursache der Kraftäusserungen; und gerade daraus geht die *Beschränkung der Forschungsmethoden*, mittelst deren an einen und denselben Gegenstand verschiedene Fragen gerichtet werden, in dem erläuterten Sinne hervor.

Anders bei den *„angewandten"* Wissenschaften. Hier ist das Forschungsgebiet ein durchaus enge begrenztes. Der Geologe, der sich die Erforschung eines *realen Gegenstandes*, der Entstehung und Umformung unserer Erde, zur Aufgabe gemacht hat, wirft ein gefundenes Mineral, sobald er ein solches als ein Kunstprodukt, also in seiner jetzigen Beschaffenheit hervorgegangen aus menschlicher Thätigkeit, z. B. als einen Ziegelstein erkannt hat, sofort weg. Dasselbe hat sein Interesse völlig verloren, weil es natürlich nicht im stande sein kann, ihm zur Erreichung seines ganz *bestimmten*, also auch begrenzten Zweckes als Aufschluss gebendes Moment zu dienen. Genau so verweist der Meteorologe, der die Vorgänge in der Atmosphäre zu erforschen unternommen, den Schwefelregen, den er in dunkleren Jahrhunderten und vor der Erkenntnis, dass derselbe nichts anderes sei als der Blütenstaub irgend einer Kiefernart, sorgfältig in seinen Annalen verzeichnete, nach dieser Erkenntnis ganz aus demselben Grunde ins Gebiet der Botanik.

Dagegen wird dem Geologen, dem Meteorologen (und jedem, der eine derartige Wissenschaft betreibt) völlig gleichgültig sein, ob er, um Erklärungen zu geben oder Theorieen aufzustellen, chemische, physikalische oder sonst irgend welche Thatsachen zu Hilfe nehmen muss. Beide suchen die Erklärung irgend welcher *realer Fakta* mit *allen Mitteln*, die ihnen zu Gebote stehen, also mit *unbeschränkten Forschungsmitteln* zu bewerkstelligen.

Dieses Verhältnis bleibt wesentlich dasselbe, ob das Forschungsgebiet einer angewandten Wissenschaft mehr durch einen *praktischen* Zweck bestimmt wird, oder ob diese mehr dem reinen Trieb nach Erkenntnis dient. In seltenen Fällen ist übrigens hier eine scharfe Grenze zu ziehen, und die meisten Wissenschaften, die anfangs nur die Erkenntnis als geistigen Genuss im Auge hatten, sind später der Praxis in hohem Grade nützlich gewesen, nützlicher sogar in der Regel, als wenn man den praktischen Zweck direkt verfolgte.

Der eben präzisierte leichtfassliche Unterschied zwischen reinen und angewandten Wissenschaften geht eigentlich schon aus dem Satze hervor, dass die reinen Wissenschaften die möglichst letzten Ursachen aller Erscheinungen aufsuchen, die angewandten sich damit begnügen, kompliziertere Erscheinungen aus einem (der Analogie

der von ihm umfassten Vorgänge wegen) abgeschlossenen Gebiet auf elementarere, von jenen reinen Wissenschaften schon erklärte Erscheinungen zurückzuführen.

Die *Agrikulturchemie* reiht sich nun jener grossen Anzahl von angewandten Wissenschaften direkt an; sie hat ein *beschränktes Forschungsgebiet*, das einer gewissen Reihe von physischen Erscheinungen, die in der praktischen Landwirtschaft ausgebeutet werden. Die Forschungsmittel dagegen, mit denen unsere Wissenschaft diese Erscheinungen bearbeitet, sind unbeschränkt. Dieselbe fragt nichts danach, ob sie heute mit der Lehre von den Kapillareigenschaften der porösen Ackererde das Gebiet der Physik betritt, oder ob sie morgen bei der Behandlung der Entstehung dieser Ackererde mit geologischen Thatsachen operieren muss. Es ist derselben ebenso völlig gleichgültig, ob die Erklärung von irgend welchen landwirtschaftlich wichtigen Erscheinungen mit Hilfe von meteorologischen und klimatologischen Vorgängen versucht wird, oder ob eine solche Erklärung auf pflanzenphysiologischen Thatsachen basiert. *Das einzige Endziel* derselben ist eben die *Erklärung* der vorhandenen realen Vorkommnisse, und sie wendet zu demselben eben alle Mittel an, die ihr dazu tauglich erscheinen.

Es könnte aus dem Ebengesagten leicht den Anschein gewinnen, als ob die Agrikulturchemie nichts weiter sei als die Technologie des landwirtschaftlichen Gewerbes, eine blosse Handlangerin der Praxis, völlig unselbständig und stets abhängig von der technischen Bedeutung, die ihr den Namen gegeben hat. — Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Auch die Agrikulturchemie hat eine von praktischen Zwecken ziemlich unabhängige Entwicklung gehabt und arbeitet vielfach rücksichtslos und unbekümmert um die Praxis der Landwirtschaft; und gerade diese Selbständigkeit, die unsere Wissenschaft bisher bewiesen hat, ist für jene von besonderem Nutzen gewesen, wie denn überhaupt, nach einer schon vorhin angedeuteten Erfahrung, die selbständigere, rücksichtslosere und theoretischere Behandlungsweise eines Gegenstandes ganz allgemein einen zwar späteren, aber auch um so tiefer eingreifenden Nutzen*) für das praktische Leben mit sich gebracht hat. Insofern würde die Agrikulturchemie weit mehr als z. B. die chemische Technologie den Namen einer theoretischen Wissenschaft verdienen.

Das muss allerdings ohne jede Widerrede zugegeben werden, dass alle theoretischen Arbeiten unserer Wissenschaft ebensogut als dem Bereich einer anderen Disziplin angehörig betrachtet werden können, allein häufig Gebieten dieser Disziplinen angehörig, die von ihren Mutterwissenschaften etwas stiefmütterlich behandelt worden sind, und denen erst durch ihre praktisch landwirtschaftliche Bedeutung Interesse abgewonnen worden ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel in dieser Richtung ist die feststehende Thatsache, dass die ganze Pflanzenernährungslehre in den letzten

*) Ich möchte hier nur an den weit höheren Nutzen erinnern, den die reine, besonders die organische Chemie für die Farbentechnik gehabt hat, gegenüber der chemischen Technologie der Färberei, obgleich diese letztere sich einen solchen Nutzen geradezu als Endzweck ihrer Forschungen gesteckt hat. Man kann sagen, dass alle grossen reformatorischen Entdeckungen durch eine möglichst theoretische Behandlung, d. h. durch „Studieren“ und nicht durch „Probieren“ gemacht worden sind, während die landläufige Redensart, die das Umgekehrte aussagt, für untergeordnete Verbesserungen jedenfalls richtig ist.

40 Jahren beinahe ausschliesslich von der Agrikulturchemie bearbeitet und von der Pflanzenphysiologie ganz und gar vernachlässigt worden ist. Man hat in dieser letzteren Disziplin, die nur theoretischen Zwecken dient, es für zweckmässig erachtet, erst andere von ihrem Standpunkte aus wichtigere und dankbarere Gebiete von mehr physikalischer Natur in Angriff zu nehmen; da trat das praktische Bedürfnis der Landwirtschaft hinzu, die Nährstoffe der Pflanzen, die sie kultivierte, zu kennen, und siehe da, ein bis dahin stiefmütterlich behandelter Gegenstand fand plötzlich von seiten der Agrikulturchemie Bearbeitung.

Nach dem Gesagten erscheint die Stellung, die unsere Wissenschaft unter den andern einnimmt, genugsam bezeichnet, und man wird mithin die Agrikulturchemie als eine *angewandte physische Wissenschaft* anzusehen haben, die, obgleich ziemlich *theoretischer Natur*, doch in *ihrem Ausdehnungsgebiet* wesentlich *durch den praktischen Zweck bestimmt wird*, dem sie dient, und die sich daher über beliebig viele spezielle Naturwissenschaften erstrecken kann.

Die Agrikulturchemie zerfällt nun naturgemäss in mehrere Unterabteilungen; einmal *in einen rein theoretischen Teil der Ernährungslehre der von dem Landwirt gezogenen und kultivierten Organismen*, und *in einen mehr praktischen Teil der Lehre von den realen Bedingungen, unter denen in der landwirtschaftlichen Technik jener Zweck erreicht wird.*

Dieselbe zerfällt aber auch, diese Einteilung durchkreuzend, in Bezug auf die verschiedenen Reiche der Organismen, um die es sich handelt, in mehrere Unterabteilungen. Man hat diesem letzteren Einteilungsprinzip unter allen Umständen Rechnung getragen und *die Theorie des Pflanzenbaues* von *der Theorie der Viehhaltung* immer sorgfältig getrennt gehalten und so die Pflanzenernährung der tierischen gegenübergestellt.

Eine sehr zweckmässige Einteilung erhält man nun, wenn man, den Bedürfnissen der Praxis und den Anforderungen der Theorie gleichzeitig Rechnung tragend, *die Ernährung der chlorophyllführenden Organismen* und *die Ernährung der chlorophyllfreien Organismen* gesondert behandelt. Man bekommt so auf der einen Seite eine Grundlage für eine *Theorie des Feldbaues*, auf der anderen Seite für *eine Theorie* sowohl *der Viehhaltung* als *der landwirtschaftlichen Gärungsgewerbe* — auf der einen Seite die *Lehre von der Produktion der organischen Substanz durch die chlorophyllführenden Organismen*, die höheren grünen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, auf der andern Seite *die von der Umformung und Zerstörung derselben durch die unter sich so verschiedenen chlorophylllosen Organismen*, landwirtschaftliche Nutztiere und Gärungspilze.

In Bezug auf die erstere Richtung, mit der wir es hier zunächst zu thun haben, schliesst sich dann an die *Ernährung der chlorophyllführenden Organismen* die *Behandlung der realen Verhältnisse* an, unter denen diese Ernährung in der landwirtschaftlichen Praxis sich vollzieht, mit Zugrundelegung der erkannten Ernährungsbedingungen also im wesentlichen die *Boden-* und die *Düngerlehre*. — Dieser zweite und dritte Teil des uns vorliegenden Gegenstandes, wo die möglichen Anwendungen von den im ersten Teil erkannten Ernährungsbedingungen der Kulturgewächse gemacht werden sollen, soll zugleich als Grundlage einer *Theorie des*

Feldbaues bezeichnet werden. Er ist in der That auch eine solche, wenn auch nicht schlechthin *die* Theorie desselben, da auch dies praktische Gebiet von ganz anderer Seite aus beleuchtet werden kann. — Ich hege die bestimmte Hoffnung, dass man sich sehr bald mit dem befolgten Einteilungsprinzip trotz dessen anscheinenden Doktrinarismus befreunden wird.

Was dann weiter die nähere Anordnung des Stoffs innerhalb dieser Unterabteilungen betrifft, so habe ich mich nicht allzu strenge an eine bestimmte Systematik gehalten, sondern hauptsächlich dafür Sorge getragen, dass die vorzutragenden Thatsachen in der ihnen gegebenen häufig unhistorischen Reihenfolge bei dem Lernenden möglichst viel Interesse erregen und möglichst leicht für denselben verständlich sind.

Wir werden bei der Lehre von der Ernährung der chlorophyllhaltigen Organismen mit deren wichtigster Thätigkeit, der *Produktion von organischer Substanz*, beginnen, deren Wesen deutlich zu machen suchen und dann nach der Reihe die Bedingungen aufsuchen, die direkt und dann mehr und mehr indirekt erfüllt sein müssen, damit jene Thätigkeit vollzogen werden kann. Jener erste wunderbare Prozess wird unser Interesse mächtig zu fesseln im stande sein, und ihm zu Liebe werden wir dann willig das Studium der ferner und ferner liegenden Umstände und Voraussetzungen unternehmen, das von vornherein nur einen geringen Reiz für uns besessen haben würde.

Es wird sich diesem Plane gemäss an das Kapitel von *der Produktion der organischen Substanz* das Kapitel von *deren Ortsänderung in der Pflanze* und dann weiter von deren *Umformung und Zerstörung* anreihen, und alsdann werden wir einen Blick auf *diejenigen Pflanzenbestandteile* werfen, deren Existenz aus den bis dahin erkannten Vorgängen sich erklärt. Man kann so durch sehr einfache Betrachtungen und ohne den Anfänger durch unnötige Details zu verwirren, einen grossen Teil der wichtigsten Thatsachen der Pflanzenernährung in einer die Aufmerksamkeit fesselnden Weise abhandeln.

Erst nach Erledigung dieser Abschnitte soll Rücksicht genommen werden auf den *Stickstoffgehalt* der grünen pflanzlichen Organismen und von *Stickstoffassimilation, der Entstehung der stickstoffhaltigen organischen Substanzen in der Pflanze, der Funktion dieser Substanzen* in derselben gesprochen werden, um vom Einfachen, Leichtübersichtlichen möglichst langsam zu den komplizierteren Verhältnissen, wie wir sie in der Natur antreffen, überzugehen.

Es folgt dann eine neue Erweiterung durch die Rücksichtnahme auf die *feuerfesten Bestandteile der Vegetabilien, deren Aufnahme und Funktionen* in ausführlicher Weise Erledigung finden werden; und wenn wir endlich alle die Stoffe kennen, aus denen der Pflanzenleib sich aufbaut, alle die Veränderungen kennen, die jene Stoffe in dem Organismus erleiden, gelangen wir *zu den Gesetzen der Stoffaufnahme*, die eine besondere Bearbeitung gefunden haben.

Damit ist alsdann der erste Teil des Gegenstandes, der von uns behandelt werden soll, abgethan, der Abschnitt von den Bedingungen des Pflanzenwachstums erledigt. Es wird übergegangen werden zu dem zweiten Teil, zur Betrachtung der *realen Verhältnisse des Ackerbaues*, unter denen jenen geforderten Bedingungen

Genüge gethan werden muss. Dort wird zuerst das Verhältnis von *Atmosphäre* und *Boden* zu den Kulturgewächsen einer Betrachtung unterworfen werden, namentlich *Entstehung*, *Zusammensetzung und Eigenschaften des Bodens* eine nähere Behandlung erfahren. Sodann sollen die *Veränderungen, welche die Vegetationsbedingungen des Bodens durch Pflanzenwuchs und Ernteentnahme* erleiden, ins Auge gefasst, und es wird auf diese Weise gezeigt werden, wie die *Düngung teilweise als eine Wiederherstellung* der durch den Anbau gestörten Vegetationsbedingungen aufgefasst werden kann, und so der Übergang zu der eigentlichen *Düngerlehre* gemacht werden.

Wenn man das, was auf irgend einem Fleck Landes, der mit grünen Pflanzen beliebiger Art bestanden ist, vor sich geht, im grossen und ganzen betrachtet und auszudrücken sucht, so gelangt man unfehlbar zu dem Satze, dass es *ein Erzeugen von organischer Substanz aus unorganischen Stoffen* ist.

Der Landwirt ist gewiss am ersten dazu befähigt, die so ausgesprochene Thatsache anzuerkennen. Derselbe führt alljährlich von seinen Grundstücken eine grosse Menge organischer Stoffe der verschiedensten Art heim; was er dafür auf das Feld hinausbringt, enthält weit weniger von solchen organischen Stoffen, und wenn er dies nicht ohne weiteres glauben sollte, so weiss er doch, dass er seine Felder unter Umständen zur Produktion von organischer Pflanzensubstanz veranlassen kann durch alleinige Zufuhr von Stoffen, die keinerlei organische Substanz in sich enthalten, oder dass auf Boden von grosser Fruchtbarkeit, wie z. B. den Marschländereien, jahrhundertelang ohne alle Düngung und unter Verhältnissen, wo die geernteten organischen Stoffe unmöglich als früher schon in der Ackererde vorhanden und bloss aus dieser in die Pflanze übergegangen angesprochen werden dürfen, die reichlichsten Ernten an Pflanzensubstanz gemacht werden.

In der That tritt uns überall, wo wir das Leben der grünen Pflanze aufmerksam betrachten, dieselbe Thatsache entgegen. Wir sehen draussen in der Natur eine rein mineralische und kohlenstofffreie Masse, wenn nur sonst alle die Bedingungen erfüllt sind, die zum Zustandekommen einer Vegetation unerlässlich, sich mit einer Pflanzendecke überziehen — je nach der Natur der mineralischen Unterlage von sehr verschiedener Art. Blossgelegte Felspartieen sehen wir häufig nach kurzer Zeit sich mit mannigfach gefärbten Flechten bekleiden, die erstarrte und abgekühlte Lava, in der gewiss keine organische Substanz vermutet werden kann, bedeckt sich an ihrer Oberfläche mit üppigem Grün, und selbst der lose Dünensand, der ebenso keine erheblichen Mengen von organischen Stoffen einschliesst, zeigt sich für Kiefernanpflanzungen sehr zugänglich, die, wenn sie auch noch so kläglich gedeihen, doch stetig in der Form von Holz, Harz etc. eine grosse Menge von neugebildeter organischer Substanz zu liefern vermögen, und dazu noch den Boden in einem an organischen Stoffen reichen Zustande zurücklassen.

Dieselbe Thatsache, zu deren Erkenntnis in der Natur immerhin schon eine gewisse Aufmerksamkeit oder einiges Nachdenken erforderlich ist, tritt uns noch in viel unzweideutigerer Weise in dem Experiment des Pflanzenphysiologen entgegen.

Dieser nimmt einen angefeuchteten Quarzsand, setzt einen gekeimten Samen hinein und begiesst diesen Sand von Zeit zu Zeit mit einer sehr verdünnten Lösung von Mineralsalzen oder setzt auch wohl seine Keimpflanzen direkt in eine solche Lösung; — und siehe da, wir sehen die junge Pflanze sich entfalten, wachsen und hundertfältige Früchte bringen. Zum Überfluss bestimmt man das Trockengewicht der geernteten Pflanze und vergleicht es mit dem des ausgelegten Samens, das auf einem indirekten Wege sehr leicht gefunden werden kann; man ermittelt ferner auf gleiche Weise die mineralischen Bestandteile der gemachten Aussaat und der erzielten Ernte und berechnet dann den Zuwachs von organischer Substanz. Wir sehen so durch das tadellos ausgeführte Experiment, so oft wir es wünschen, bestätigt und zur unwiderleglichen Gewissheit erhoben, was schon unserm aufmerksamen Blick draussen in der Natur nicht entgehen konnte, dass *die grüne Pflanze befähigt ist, organische Substanz zu erzeugen*, wobei selbstredend unter diesem Ausdruck kein Neuschaffen aus dem Nichts, sondern nur eine chemische Umwandlung unorganischer Stoffe in organische verstanden werden darf, also eine Produktion in dem Sinne, etwa wie ein Hochofen Eisen produziert; denn ersteres ist nach unseren wohlgegründeten Vorstellungen von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie eine Unmöglichkeit.

Die Bedeutung des Ausdrucks „organische Substanz“ und „Umwandlung unorganischer Stoffe in organische“ bedarf indessen — und dies geht schon aus der soeben gemachten Bemerkung hervor —, um jedes Missverständnis von vornherein abzuschneiden, einige Erläuterungen; da man sich in neuerer Zeit mehr und mehr gewöhnt hat, in verschiedenen Disziplinen etwas Grundverschiedenes mit dem Namen einer „organischen Substanz“ zu belegen. Ich muss dabei an die geschichtliche Entwicklung unserer Begriffe über die Entstehung der vorzugsweise in Organismen vorkommenden Substanzen erinnern.

Ursprünglich ist der Begriff „organische Substanz“ ein beinahe selbstverständlicher und darum ein sehr leicht definierbarer und begrenzbarer gewesen. Man nannte in der Chemie, nachdem man einmal angefangen hatte, chemisch reine Substanzen, sogenannte „chemische Individuen“, von beliebigen Gemischen solcher einzelnen Substanzen zu unterscheiden, alle diejenigen Substanzen, die man lediglich in Organismen aufgefunden hatte, zu deren künstlicher Darstellung man sich nicht für befähigt erachtete und zu deren Entstehung man daher Organismen für unumgänglich notwendig hielt, organische Substanzen. Alle diese Stoffe erwiesen sich bei der Zerlegung als kohlenstoffhaltig und man sprach aus, dass alle organischen Substanzen Kohlenstoffverbindungen seien. Allein man hatte auch den Kohlenstoff als einen Bestandteil vieler Verbindungen, die in der unorganischen Natur aufgefunden worden waren oder die aus den letzteren leicht dargestellt werden konnten, erkannt, mithin als einen Bestandteil von Verbindungen, die nach ihrem Vorkommen jedenfalls als unorganische bezeichnet werden mussten.

Man war also weit davon entfernt, den Begriff der Kohlenstoffverbindung*) mit

*) Hier mag sogleich die Bemerkung Platz finden, dass zwar der Kohlenstoff ein Element ist, das wegen der Mannigfaltigkeit seiner Verbindungen (die er wesentlich seiner Hochatomigkeit verdankt) und seiner grossen Verbreitung sich ganz besonders zum Aufbau der Organismen-

dem der organischen Substanzen zu identifizieren, obwohl man andrerseits den Kohlenstoffgehalt als wesentlich für alle organischen Stoffe hatte erkennen müssen. In den älteren Lehrbüchern der Chemie werden daher nicht alle Kohlenstoffverbindungen im organischen Teile abgehandelt, wie dies in vielen neueren — wir werden gleich sehen warum — geschieht, sondern eine Reihe von jenen Verbindungen als unorganische Körper betrachtet. Die Grenze zwischen beiden Klassen von kohlenstoffhaltigen Körpern schien scharf gezogen werden zu können, da man nur die ausschliesslich in Organismen vorkommenden (nicht die allen Reichen gemeinschaftlichen) Substanzen, und solche, die lediglich aus diesen künstlich dargestellt werden konnten, mit dem Namen „organische" belegte. Es war praktisch niemals vorgekommen, dass die, wie man sich ausdrückte, unter dem Einfluss der Lebenskraft sich bildenden komplexen Kohlenstoffverbindungen, auch ausserhalb der Organismen, aus unorganischem kohlenstoffhaltigen Material gebildet worden waren.

Die so gezogene Grenze musste aber naturgemäss eine unsichere werden, als es einmal gelang, einzelne jener nach der eben gegebenen Erläuterung als organisch bezeichneten Stoffe künstlich aus unorganischen darzustellen. Die erste grosse Bresche in das anscheinend so fest gegründete System wurde durch die künstliche Darstellung des Harnstoffs aus Cyanverbindungen (die ihrerseits aus rein unorganischem Material hervorgehen konnten) und Ammoniaksalzen durch Wöhler im Jahre 1828 gelegt, obwohl man sich noch anfangs damit zufrieden zu geben geneigt *schien*, dass der Harnstoff ein Endprodukt des Stoffwechsels, eine Verbindung nahe ihrem Zerfall in unorganische Produkte sei, und sich dachte, dass für die eigentlichen „hochorganisierten" Verbindungen, wie sie in die Zusammensetzung der Organismen eingehen, eine derartige künstliche Darstellung unmöglich, die Grenzlinie also, auch nach dieser Verschiebung, dennoch eine haltbare sei.

Aber bald erfolgte Stoss auf Stoss gegen die mühsam aufrecht erhaltenen Schranken. Es gelang mehr und mehr, auch andere organische Verbindungen in grosser Anzahl, z. B. den gewöhnlichen Alkohol, wenn auch indirekt, aus unorga-

leiber zu eignen scheint, dass aber theoretisch durchaus nichts im Wege steht, dass nicht auch andere Elemente von ähnlichen Eigenschaften dieselbe Rolle spielen könnten, wenn auch wenig thatsächliche Beobachtungen über ein derartiges Verhalten anderer Elemente vorliegen. Es ist besonders durch die schönen Untersuchungen von Friedel und Ladenburg (vgl. Annalen d. Chem. u. Pharm. Bd. 143 p. 118, Bd. 145 pp. 174 u. 179, Bd. 147 p. 355 und Compt. rend. T. 66 p. 816) festgestellt worden, dass das Silicium in ganz ähnlicher Weise wie der Kohlenstoff (wenn auch weniger intensiv) wasserstoffhaltige und verhältnismässig sauerstoffarme Verbindungen von mannigfaltiger Zusammensetzung einzugehen befähigt ist, die es zu ähnlichen Funktionen geeigenschaftet erscheinen lässt. So hat man beispielsweise eine der Oxalsäure analoge verbrennliche Verbindung dargestellt, die Silicium statt Kohlenstoff enthält, spricht bereits von einer Äthylreihe des Siliciums u. s. f. Es geht aus der von uns im Text sogleich zu acceptierenden Auffassung des Wortes „organisch" hervor, dass wir auch diese (in Bezug auf Kieselsäure) *reduzierten* Siliciumverbindungen als organische Substanzen bezeichnen müssten, sobald der erste (theoretisch mögliche) Fall eines Organismus vorläge, der seinen Leib ganz oder teilweise aus Kieselsäure und Wasser unter Abscheidung von Sauerstoff aufbauen sollte, während der Chemiker dies seiner Definition nach selbstredend unterlassen müsste. Freilich haben sich Ladenburg und andere vergeblich viel Mühe gegeben, solcher komplizierten reduzierten Siliciumverbindungen in Pflanzen habhaft zu werden.

nischem Material zu bilden. Fast täglich wurden — dank den Fortschritten der neueren Chemie — derartige Bildungsweisen für eine stets wachsende Anzahl von organischen Stoffen entdeckt, und heute zweifelt niemand mehr daran, dass es dereinst gelingen könne, alle organischen Verbindungen bis herauf zu den hochorganisiertesten, den Proteïnstoffen, auf diesem Wege darzustellen.

Die Chemie half sich in dieser schwierigen Lage kurz und definierte alle Kohlenstoffverbindungen als organische Substanzen, die organische Chemie als die Chemie des Kohlenstoffs, und seitdem bekümmert sich dieselbe durchaus nicht mehr um das Vorkommen der einzelnen Substanzen innerhalb und ausserhalb von Organismen. In der genannten Wissenschaft ist daher der ursprüngliche Sinn des Wortes „organische Substanz“ verloren gegangen und dafür ein anderer von jenem gänzlich verschiedener, aber klar definierbarer untergeschoben worden.

Allen denjenigen Disziplinen jedoch, die es mit physiologischen Dingen zu thun haben, ist mit dieser Auffassung, wodurch die ganze frühere Bedeutung jener Bezeichnung verloren geht, und wobei diese letztere nur aus Bequemlichkeitsrücksichten für eine grosse Menge von chemischen Verbindungen beibehalten wird, keineswegs gedient. Für alle diese Disziplinen und in erster Linie für die Agrikulturchemie besteht trotz der Möglichkeit der künstlichen Darstellung der Bestandteile, die im wesentlichen die Leiber der Organismen zusammensetzen, dennoch ein greifbarer und wichtiger Unterschied zwischen diesen Bestandteilen und den unorganisierten Kohlenstoffverbindungen, aus denen die Pflanzen sich ernähren. Jene haben vor diesen immer eine Eigenschaft voraus, die bei einer nur sehr kleinen Änderung der ursprünglichen Begriffsbestimmung völlig charakteristisch ist und eine scharfe und bleibende Grenzlinie zu ziehen erlaubt — die Eigenschaft, Affinität zu Sauerstoff zu besitzen, die bei allen unorganischen Kohlenstoffverbindungen schon vollkommen gesättigt ist — also im weitesten Sinne des Worts „verbrennlich“ zu sein, während diese unverbrennlich sind, keine weiteren Mengen von Sauerstoff in sich aufzunehmen vermögen. Dass ein ähnlicher Prozess, wie er für die Organismenwelt als Ganzes betrachtet charakteristisch ist, solche verhältnismässig sauerstoffarmen Stoffe aus unorganischen, ebenfalls kohlenstoffhaltigen, aber sauerstoffgesättigten Verbindungen zu erzeugen, auch künstlich eingeleitet werden kann, stört diese unsere Anschauungsweise nicht im allergeringsten. Wir sagen einfach, dass es auch ausserhalb von Organismen möglich sei, organische Substanz zu produzieren.

Wir haben dieser Begriffsbestimmung nach nicht bloss alle die früher sogenannten „organischen“ Substanzen, die kohlenstoffhaltigen Baustoffe der Organismen als solche zu bezeichnen, sondern müssen auch eine Reihe von Körpern, deren Zusammenhang mit der organischen Welt nicht mehr so auf der Hand liegt, die man teilweise ausserdem schon in sehr früher Zeit aus hochoxydiertem, anorganischem Materiale darzustellen vermochte, und die daher früher wohl zu den unorganischen Substanzen gerechnet worden sind, wie z. B. die reine Kohle, die gasförmigen Kohlenwasserstoffe, das Kohlenoxydgas, das Cyan etc., als organische Substanzen auffassen, so dass nur die völlig verbrannten kohlenstoffhaltigen Körper, die Kohlensäure und deren Verbindungen mit kohlenstofffreien und ebenfalls verbrannten Stoffen, die Karbonate, als unorganische Substanzen übrigbleiben.

Es wird erst viel später nach Kenntnis der Grundzüge des Lebens der Organismen möglich sein, den Sinn und die Berechtigung der eben gegebenen Begriffsbestimmung völlig zu verstehen; hier genügt es, den so gefassten Begriff festzuhalten.

Wenn wir im vorhergehenden von Produktion von organischer Substanz aus unorganischem Material sprachen, so musste darunter verstanden werden: die Vornahme eines Reduktionsprozesses von hochoxydiertem kohlenstoffhaltigem Material zu sauerstoffärmeren Verbindungen. Ein solcher Prozess wird also von der lebenden Pflanze unterhalten, und die so gebildeten organischen Verbindungen sind neben Wasser das wesentliche Material, aus dem der Pflanzenleib sich aufbaut. Eine Produktion von organischer Substanz im Sinne der heutigen Chemie wäre natürlich nach unseren Anschauungen unmöglich. Es hiesse dies nichts anderes, als ein Entstehen von kohlenstoffhaltiger Materie aus kohlenstofffreier, eine Umbildung von chemischen Elementen ineinander oder gar eine Neubildung von Materie — Dinge, die, wie gesagt, nach unseren Vorstellungen zu den Unmöglichkeiten gehören, solange wenigstens unsere provisorischen Elemente als wirkliche unzerlegbare Grundstoffe betrachtet werden müssen.

Die Produktion von organischer Substanz in dem von uns nun hinlänglich erläuterten Sinn ist also, wie man durch Beobachtung natürlicher oder künstlich eingeleiteter Vegetation leicht finden kann, ein Resultat des Pflanzenlebens und, wie wir hinzufügen können, das hervorragendste Resultat desselben. Dieselbe besteht, wie aus der gegebenen Begriffsbestimmung hervorgeht, in der Bildung von relativ sauerstoffarmen Kohlenstoffverbindungen aus der sauerstoffreichsten, der Kohlensäure, die wir mit ihren Verbindungen als die einzigen anorganischen kohlenstoffhaltigen Körper bezeichnen mussten.

Es muss aber nun sogleich hinzugesetzt werden, dass *alle* die organischen Substanzen, die im Pflanzen- und Tierkörper eine Rolle spielen, auch noch einen andern charakteristischen Bestandteil ausser Kohlenstoff enthalten — den Wasserstoff, und dass daher die Kohlensäure nicht der einzige Rohstoff sein kann, aus dem sich bei dem vor sich gehenden Reduktionsprozess die organische Substanz aufbauen kann. Gleichzeitig mit der Kohlensäure wird das Wasser, die verbreitetste und gleichfalls sauerstoffgesättigte Wasserstoffverbindung, durch jenen Prozess verarbeitet, und so entsteht eine organische Verbindung, die aus Kohlensäure und Wasser bestehend gedacht werden kann, weniger einer gewissen Menge von Sauerstoff, welche letztere wir vorerst noch unbestimmt lassen wollen. Der Prozess der Entstehung von organischer Substanz in der Pflanze kann mithin durch folgende chemische Umsatzgleichung dargestellt werden:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_{2x+y-z} + z\,O,$$

worin x, y, z vorläufig noch unbestimmte Werte haben.

Wir beschäftigen uns vorerst noch nicht mit der Frage, in welcher Weise die Kohlensäure und das Wasser der produzierenden Pflanze zur Verfügung gestellt wird, sondern nehmen dieses Rohmaterial der Produktion einmal als an der Stätte dieses Vorgangs vorhanden an und halten nur fest, dass die Entstehung von organischer Substanz stets auf Kosten von Kohlensäure und Wasser und unter Abscheidung von Sauerstoff vor sich gehen muss.

Es wird für uns zunächst von Interesse sein, den Vorgang der Entstehung dieser organischen Substanz in der Pflanze näher kennen zu lernen, die Bedingungen zu ermitteln, die zum Zustandekommen dieses Prozesses notwendig erfüllt sein müssen, den Ort, wo dieser Prozess verläuft, und den Apparat, in dem derselbe vollzogen wird.

Die Pflanzenphysiologie ist im stande, mit voller Bestimmtheit den Apparat zu bezeichnen, in dem die organische Substanz Entstehung nimmt. Es ist dies die *chlorophyllhaltige* (blattgrünhaltige) *Zelle*. Nicht jede Pflanzenzelle ist im stande, auch bei Erfüllung aller der Bedingungen, die sonst zum Zustandekommen des Produktions- oder Assimilationsprozesses, wie man ihn auch mit einem weniger unzweideutigen Ausdruck zu nennen pflegt, vorhanden sein müssen, diesen Prozess zu vollziehen, sondern die Pflanzenzelle muss zu diesem Behufe eine ganz bestimmte, nachher näher zu besprechende Einrichtung besitzen, die wir als Chlorophyllgehalt bezeichnen. Eine Pilzzelle z. B., die ausnahmslos diese Einrichtung nicht besitzt, ist schlechthin unbefähigt zur Produktion von organischer Substanz, mag sie nun eine vereinzelte Spore sein oder ein Teil eines komplizierteren Pilzorganismus.

Dagegen vermag eine *einzelne* Zelle*), wenn sie jene Einrichtung besitzt, d. h. chlorophyllhaltig ist, aus Kohlensäure und Wasser organische Substanz zu bilden. Eine einzellige Alge, ein *Protococcus* z. B. ist zur Produktionsthätigkeit genau so befähigt, wie die kompliziertesten chlorophyllführenden Organe der höheren Pflanzen. Dieselbe scheidet, wenn nur alle Bedingungen jenes Vorgangs erfüllt sind, aus Kohlensäure und Wasser Sauerstoffgas ab und gewinnt bei diesem Vorgang organische Materie, aus der sie im wesentlichen ihren Leib bildet und neue Zellen formt, die sich alsdann in einer hier nicht näher zu verfolgenden Weise von der Mutterzelle loslösen.

Die Pflanzenzelle an sich hat also nicht die Befähigung, organische Substanz aus unorganischem Material zu bilden. Sehr viele Pflanzenzellen, sehr viele vielzellige Pflanzenorgane und sehr viele ganze Pflanzen besitzen in einzelnen Entwicklungsstadien oder während ihres ganzen Lebens die Einrichtung nicht, die zu jener Thätigkeit geeignet macht, und wenn wir vorhin in etwas unbestimmter Form von der Thatsache sprachen, dass man durch sehr einfache Beobachtungen zu der Einsicht der Entstehung von organischer Substanz durch das Pflanzenleben gelangen könne, so war diese Ausdrucksweise nur insofern richtig, als die überwiegende Mehrzahl der Pflanzen während der längsten Zeit ihres Bestehens die fragliche Lebensweise befolgt. Es gilt dies vielleicht nicht für die Mehrzahl der einzelnen pflanzlichen Individuen, sondern der Pflanzenmasse nach, auf die es hier ankommt. Wir werden auf diesen Gegenstand noch häufig zurückkommen.

Zunächst wirft sich uns nun die Frage auf: Worin besteht denn jene eigentümliche Vorrichtung, die zur Vollziehung jenes Prozesses befähigt? und da muss ich sogleich bemerken, dass wir zur Zeit ausser stande sind, jene Vorrichtung in

*) Ich glaube auch jetzt noch die einzelne Zelle als Elementarorgan für den Assimilationsprozess bezeichnen zu sollen, nachdem die Untersuchungen von Engelmann dargethan haben, dass einzelne Chlorophyllkörner einer zerrissenen Zelle eine gewisse Zeit lang O ausscheiden, und zwar glaube ich mich dazu berechtigt, weil diese Bruchteile einer Zelle allein und für sich keine dauernde Lebensbefähigung besitzen.

ihrer Zweckmässigkeit, in der Art und Weise ihres Arbeitens zu verstehen. Wir kennen jedoch eine Reihe von sicher festgestellten äusseren Merkmalen, an denen es auch dem Laien in diesen Dingen möglich ist, die Befähigung einer Zelle zu jener Produktion von organischer Substanz sofort zu erkennen. Die chlorophyllhaltige Zelle oder doch ein Komplex solcher Zellen erscheint auch dem unbewaffneten Auge in der Regel völlig grün. Es giebt nur verhältnismässig wenig Ausnahmen, wo der Gehalt an Chlorophyll in grösseren Organen nicht durch die Farbe erkannt werden kann, wenn nämlich der grüne Farbstoff, den wir Chlorophyll oder Blattgrün nennen, durch irgend einen andern Farbstoff gedeckt wird, so dass eine eigentümliche Mischfarbe entsteht. Dieser Fall kommt namentlich bei vielen Flechten und Algen*) vor, wo es dann bei Anwendung von verschiedenen Lösungsmitteln gelingt, neben andern Farbstoffen den Gehalt an dem grünen Chlorophyllfarbstoff dennoch festzustellen. Ganz etwas Ähnliches findet auch bei manchen höheren Pflanzen, z. B. den Blutbuchen und andern rot erscheinenden Varietäten von Haselnuss etc. statt, wo die grüne Farbe der chlorophyllhaltigen Zellen**) durch den rotgefärbten Zellsaft völlig verdeckt wird. Häufig finden wir auch die grünen Organe, wie z. B. beim Edelweiss, von einer weissen Behaarung ganz verdeckt, wo sie sich dann schon durch einfaches Zerreissen der Pflanze blosslegen und in ihrer charakteristischen Färbung erkennen lassen, und ein ähnlicher nur etwas schwieriger zu konstatierender Fall ist für weisslich erscheinende Flechten nachgewiesen, deren Chlorophyllgehalt sich durch Zerreiben mit Alkohol und Abfiltrieren einer grünlichen Lösung zeigen lässt.

Im grossen und ganzen sind jedoch die chlorophyllführenden Pflanzen und Pflanzentheile auch für das ungeübte Auge völlig grün, und man urteilt im allgemeinen ganz richtig, wenn man annimmt, dass die grünen***) Pflanzen und Pflanzenteile jenen Reduktionsprozess in sich zu vollziehen im stande sind, und den anders gefärbten Pflanzen und Organen diese Fähigkeit vollständig abspricht. Namentlich sind farblose Pflanzen oder Teile derselben fast ausnahmslos chlorophyllfrei.

*) Nur bei ganz niedrig stehenden Pflanzen giebt es Ausnahmen von dieser Regel, wenn schon viele nicht grün gefärbte Organismen, wie z. B. die roten Florideen, neben anderen Farbstoffen (Rosanoff: Observations sur les fonctions et les propriétés des pigments des diverses algues: Extrait des mémoires d. l. société impér. d. sc. nat. d. Cherbourg T. XIII. p. 145) wirkliches Chlorophyll enthalten. Etwas Ähnliches ergiebt sich aus den spektroskopischen Untersuchungen des Farbstoffs der Diamoteen von A. L. Smith (vergl. Annal. d. Landw. Wochenbl. 1870, p. 27). Dagegen hat schon Kraus Unterschiede in den Absorptionsspektren einer Oscillarie gefunden und Engelmann (Onders. Physiolog. Labor. Utrecht III. R. XI. 1889) hat als Farbstoff roter Bakterien ein purpurähnliches Pigment beschrieben, das ganz analog dem Chlorophylle funktioniert.

**) Dieselben sind indess gewöhnlich ärmer an Chlorophyll und daher von schlechterem Produktionsvermögen. Vgl. Jamelle: Compt. rend. 111, p. 380.

***) Es kommen allerdings in der Pflanzenwelt, wie z. B. bei den fruktifizierenden Schimmelpilzen, ebenso wie in der Tierwelt Grünfärbungen vor, die mit einem Chlorophyllgehalt nichts zu thun haben, aber mit einem solchen auch kaum zu verwechseln sind. Einige niedrige Tierformen besitzen dagegen echtes Chlorophyll. Die meisten dieser Fälle waren indessen auf Symbiose (Zusammenleben von Tieren mit grünen Algen, ähnlich wie die Pilze in den Flechten) zurückzuführen.

Alle solche chlorophylllose Pflanzen und Pflanzenteile sind also nicht im stande, sich organische Substanz selbst zu erschaffen, und eine jede Zelle, die die besprochene Einrichtung nicht besitzt, ist darauf angewiesen, die organische Substanz, deren auch sie bedarf, von aussen zu beziehen. Es ist dies ein Satz von sehr weitgehender Bedeutung*), dem volle Beachtung geschenkt werden muss. Wie völlig die Neuerzeugung von organischer Substanz bei einer Pflanze Hand in Hand geht mit dem Besitz von grünen Organen, dies wird weiter besonders dem Praktiker anschaulich, wenn er die Periode ins Auge fasst, in welcher eines seiner Gewächse am raschesten an Masse zunimmt. Dies ist ausnahmslos die Zeit, in welcher die grünen Blattorgane am reichlichsten entfaltet und zugleich noch in frischem Zustande sind.**)

Was nun die nähere Einrichtung der chlorophyllhaltigen Zelle betrifft, so bedarf es wegen der Kleinheit dieses Elementarorgans selbstredend des Mikroskops, dieselbe festzustellen. Durch Untersuchungen mittelst dieses Instruments hat sich nun ergeben, dass die chlorophyllhaltige Zelle ganz beliebige Formen annehmen kann, dass sie wie die andern Pflanzenzellen auch rund, elliptisch, cylindrisch, relativ gross oder klein sein kann und sich von den Zellen, die jene Fähigkeit, den bezeichneten Reduktionsprozess vorzunehmen, nicht besitzen, im wesentlichen und allgemeinen nur unterscheidet durch eine abweichende Beschaffenheit des protoplasmatischen Teils des Zellinhalts. Es kann hier natürlich nicht unsere Aufgabe sein, eine erschöpfende Definition von „Protoplasma“ zu geben, und ich erinnere im folgenden nur an das über dieses Organ allgemein Bekannte. Wir bezeichnen mit „Protoplasma“ eine als Zellinhalt, aber auch gelegentlich nicht umschlossen von Zellmembranen vorkommende halbflüssige (gallertartige oder körnige) organisierte stickstoffhaltige Substanz, von der alle organischen Neubildungen, sie mögen heissen, wie sie wollen, ausgehen und die daher mit grösserem Recht als irgend ein anderes Organ der Pflanze als der wahre Sitz der Lebensthätigkeit angesprochen werden kann.

Dieses Protoplasma nun, das in jugendlichen der Vermehrung fähigen Zellen den ganzen Hohlraum der Zelle oder denselben bis auf einen mit wässriger Flüssigkeit angefüllten, „Vakuole“ genannten Rest einzunehmen pflegt und nur in denjenigen älteren Zellen, welche die Fähigkeit, sich selbständig zu vermehren, eingebüsst haben, zurücktritt oder ganz verschwindet, hat in den chlorophyllhaltigen Zellen eine abweichende Beschaffenheit, die sich zunächst in der Grünfärbung zu erkennen giebt. Das Protoplasma der chlorophyllhaltigen Zellen ist aber nicht etwa in allen Fällen

*) Derselbe hat trotzdem eine Ausnahme, wenn in gewissem Sinne allerdings nur scheinbar. Es giebt infolge der Untersuchungen von Heraeus (Zeitschr. f. Hygiene I. 1886) und von Winogradsky (Annal. d. l'institut Pasteur IV. 1890, p. 268) Organismen, die später noch zu nennenden Salpeterbakterien, die trotz Abwesenheit von Chlorophyll und im Dunkeln die organischen Stoffe ihres eignen Leibes aus Karbonaten zu erzeugen vermögen. *Sie können dies aber nur, weil sie sich auf Kosten von Ammoniak ernähren, welches ebenso wie die organischen Stoffe verbrennlich ist.* Eine ähnliche scheinbare Ausnahme besteht vielleicht bei den Schwefelbakterien und den Eisenbakterien, die Schwefelwasserstoff resp. Eisenoxydul aufnehmen.

**) Vergl. den Gewinn der Haferpflanze an Trockensubstanz bei Arendt: Das Wachst. der Haferpfl. 1859, p. 113.

einfach durch seine ganze Masse gleichförmig grün gefärbt, sondern es treten in weitaus den meisten Fällen mit der Grünfärbung eigentümliche, für die einzelnen Pflanzenformen mehr oder weniger charakteristische Gestaltsveränderungen im Protoplasma auf, die hier wenigstens einer Erwähnung bedürfen. Nur in seltneren Fällen, und dann immer bei den allerniedrigsten grünen Gewächsen, ist der gesamte protoplasmatische Inhalt einer chlorophyllführenden Zelle (wenigstens bis ganz nahe zur peripherischen Begrenzung des Protoplasmas) ziemlich gleichmässig grün gefärbt*). In der Regel ist die grüne Färbung gebunden an körnige, halbweiche Massen, die in dem Protoplasma, deutlich getrennt von dessen flüssigerem Teil, sich vorfinden und je nach der Pflanzenform sehr verschiedene Gestaltung besitzen. In allen Fällen aber kann der grüne Farbstoff durch Alkohol und ähnliche Lösungsmittel ohne weitere Änderung der Form der gefärbten Massen bis zu deren Entfärbung ausgezogen werden. Solche grüngefärbte Inhalts- oder Teilkörper des Protoplasmas werden dann je nach ihrer Gestalt als *Chlorophyll-Körner*, *Chlorophyll-Körper* oder *-Bänder* bezeichnet, während die chemische Substanz des ausziehbaren Farbstoffs schlechtweg *Chlorophyll* genannt wird**).

Um einige Formen namhaft zu machen, die solche Chlorophyllmassen in verschiedenen Pflanzenarten annehmen, nenne ich die grünen Quergürtel, die sich in den cylindrischen Zellen mancher Fadenalgen, wie z. B. der Sphaeroplae annulina, dadurch bilden, dass der die jugendliche Zelle gleichmässig auskleidende grüne Wandbeleg beim Wachsen derselben nicht gleichen Schritt hält mit der Zellwand und dem farblosen Protoplasma, die ihr Volumen weit rascher vermehren. In anderen Algenarten von cylindrischem Bau haben die sich auf gleiche Weise bildenden grünen Gürtel oder Platten, welche sich scharf getrennt zeigen von dem ungefärbten Protoplasma, die Gestalt einer cylindrischen Schraube***), wie z. B. in Spirogyra longata, wo dann eine jede Zelle eine solche mehrfach gewundene grüne Schraube enthält. (Vergl. Fig. 1 A.)

Bei den höheren grünen Pflanzen jedoch kommt ein derartiger geometrisch regelmässiger Bau des Chlorophyllkörpers nicht vor, sondern wir sehen in dem Protoplasma der chlorophyllhaltigen Zellen solcher Pflanzen eine grössere Anzahl von einzelnen rundlichen grüngefärbten Körnern auftreten (vergl. Fig. 1 B), die gerade so wie andere Chlorophyllmassen durch Alkohol ihrer Färbung beraubt werden, eine ebenso geformte protoplasmatische Grundlage hinterlassend.

Wir gehen hier noch nicht näher auf die Anordnung der chlorophyllhaltigen Zellen in den höheren Pflanzen ein, bei welchen eine komplizierte Organisation die Anwesenheit einer grossen Anzahl chlorophyllfreier Zellen, die anderen Zwecken dienen, neben den chlorophyllhaltigen erheischt, da wir es vorerst nur mit einer einzigen Funktion der grünen Pflanzenwelt zu thun haben. Wir erwähnen nur, dass

*) Die eingehende Erörterung dieses Falles macht den Unterschied beinahe verschwinden. Bei näherer Untersuchung sind auch diese Chlorophyllmassen ziemlich deutlich lokalisiert als plattenartige Körper gegen die Aussenwand hin und netzartig nach innen sich verzweigend.

**) Sehr vollständige Litteraturangaben namentlich bei A. Meyer: Die Trophoplasten (Biolog. Centralbl. 1884, Nr. 4) und bei Tschirch: Landw. Jahrbücher 1884.

***) Einer Spirale, wie die Botaniker sich fälschlich ausdrücken.

in den höheren Pflanzen gemeiniglich eine grössere Anzahl von chlorophyllhaltigen Zellen zu Organen zusammentreten, denen dann beinahe ausschliesslich die Aufgabe der Produktion von organischer Substanz zufällt. Solche Organe, die sich in der Regel durch eine eigentümliche, wie wir später erkennen werden, für ihre Funktion sehr nützliche Gestalt und auch sonst durch einige zweckdienliche Einrichtungen auszeichnen, heissen Blätter oder schärfer Laubblätter. Diese rein physiologische

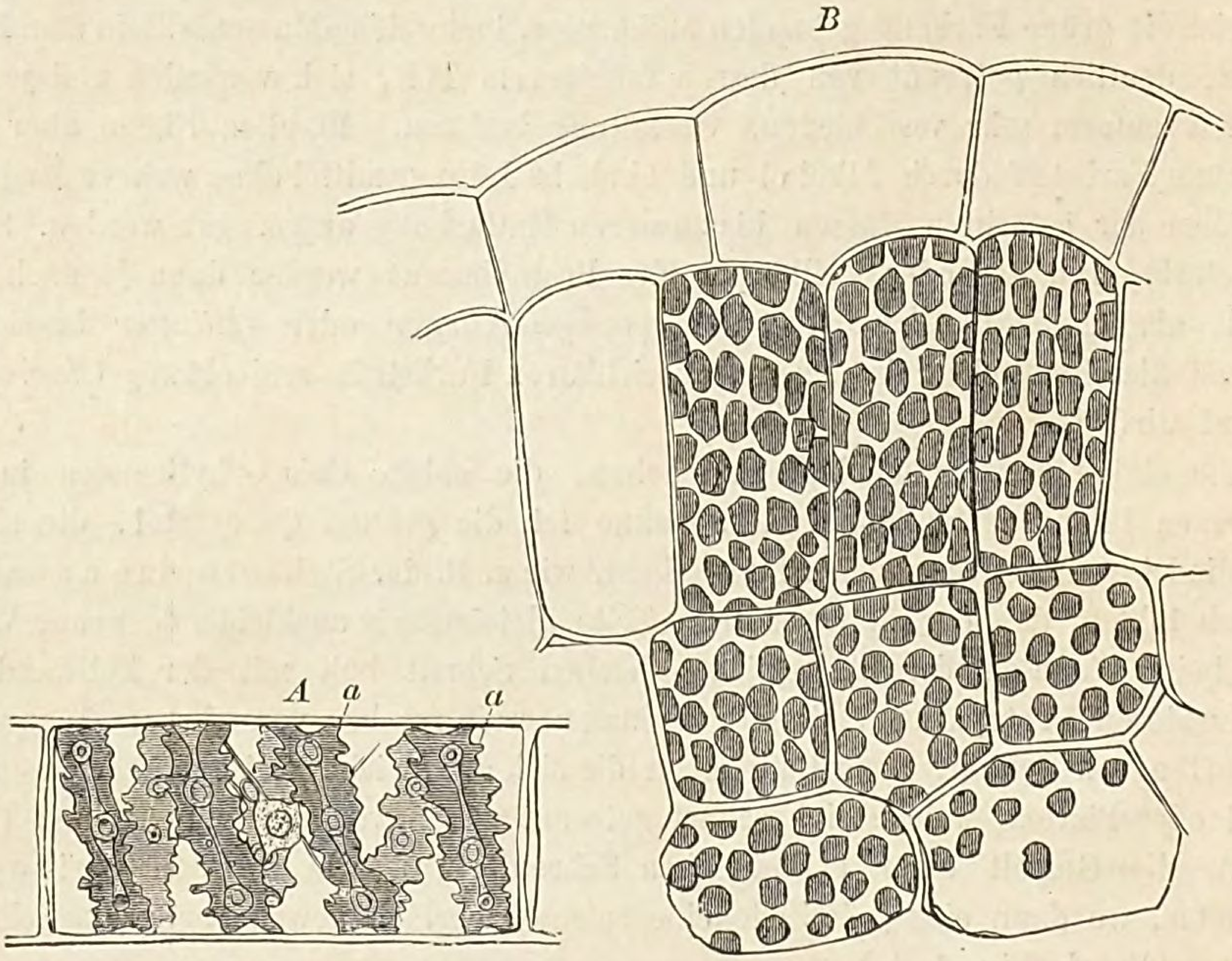


Fig. 1. — A. Lebende Zelle von Spirogyra longata, 550fache Vergrösserung. (Nach J Sachs: Botanik.) a. schraubenförmiger Chlorophyllgürtel. — B. Schnitt durch das grüne Blatt eines höheren Gewächses. Das Blattparenchym ist mit ausgebildeten Chlorophyllkörnern dicht angefüllt.

Bedeutung des Wortes „Blatt“ ist dann wohl zu unterscheiden von jener andern rein morphologischen des gleichen Wortes, die nichts über die Funktion des damit belegten Organes, sondern nur etwas über dessen Stellung im Entwicklungsgange aussagt. Bei einer Opuntia oder anderen Kakteen z. B. spielen die Glieder der Hauptachse physiologisch die Rolle von Blättern, während ihre Blätter (im Sinne der Morphologie) zu Verteidigungsorganen (Stacheln) degradiert sind.

In vorstehendem sind ungefähr die Merkmale des Apparates, in welchem der Prozess, von dem wir in dieser Vorlesung zu sprechen angefangen haben, sich vollzieht, enthalten. Wir werden später noch einige Worte zu sagen haben über die Entstehungsbedingungen dieses physiologischen Apparates. In der nächsten Vorlesung aber wollen wir einen Blick auf die andern notwendigen Erfordernisse zur Produktion von organischer Substanz im pflanzlichen Organismus werfen.

Zweite Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die chemische Arbeit des Lichtes.

Wir haben in der ersten Vorlesung in der Pflanze einen Apparat kennen gelernt, in dem sich ein merkwürdiger Prozess: *die Reduktion von Kohlensäure und Wasser zu organischer Substanz* vollzieht, und mit der Betrachtung dieses Apparates einen Teil der Bedingungen ins Auge gefasst, die notwendig erfüllt sein müssen, damit dieser Prozess von statten geht.

Heute wollen wir uns mit der weiteren Verfolgung der zunächst vor uns liegenden Aufgabe, mit der Aufsuchung der anderen Bedingungen beschäftigen, die in gleicher Weise zum Zustandekommen des ins Auge gefassten Prozesses unerlässlich sind.

Selbstverständlich ist zu diesem Vorgange — ausser dem Apparate — das Material erforderlich, aus dem die organische Substanz Entstehung nimmt. Wir wissen, dass Kohlensäure und Wasser dieses Material sind, und können also sagen, dass die chlorophyllhaltige Zelle den Prozess der Bildung von organischer Substanz nicht unter ganz beliebigen Umständen zu vollziehen vermag, sondern dass sie, um hierzu befähigt zu sein, Wasser und Kohlensäure in sich enthalten muss, die sie unter Abscheidung von Sauerstoff in sich verarbeitet. Wir erinnern nur an diese selbstverständliche, aber unerlässliche Bedingung, ohne auf die Art und Weise, wie jene Stoffe in die chlorophyllhaltige Zelle eintreten, hier schon näher eingehen zu können.

Es sind nur einige Worte zu sagen über die Menge und die Konzentration, in welcher diese Rohstoffe geboten sein müssen. Die chlorophyllhaltige Zelle muss, um organische Substanz bilden zu können, ein ziemlich wasserreiches Protoplasma besitzen. Es ist nicht bloss nachgewiesen, was im Grunde selbstverständlich erscheint, dass bis zur Steifheit getrocknete, also tote, wenn auch sonst ganz und gar unverletzte Blätter ihre Fähigkeit verloren haben, organische Substanz in sich zu erzeugen, und dass nicht so vollständig getrocknete und noch völlig lebenskräftige, wenigstens teilweise, jene Fähigkeit eingebüsst haben*). Diese Thatsache hat eine sehr erhebliche praktische Bedeutung, da sie erklärt, warum die Grasproduktion auf Trockenwiesen, aber auch der Ertrag der meisten anderen landwirtschaftlichen Gewächse in wasserarmen Perioden so ausserordentlich Not leidet und zwar dies thut, ehe die Trockenheit ein Absterben der Pflanzen veranlasst, d. h. also bis zur wirklichen Dürre geht.

*) Boussingault: Agronomie etc. IV. 1868, p. 219, 320 u. 324. Nach den Untersuchungen von H. Kreusler haben sogar stark transpirierende Blätter, denen man noch keinerlei Schädigung infolge des Wassermangels anmerkt, die Produktionsbefähigung unter Umständen vorübergehend eingebüsst (Landw. Jahrb. '85, p. 913). Dahin gehört auch die interessante von A. F. W. Schimper beobachtete Hemmung des Produktionsprozesses durch Kochsalz, da dieses das H_2O festhält (Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphys. 1891, p. 110). Doch beweist die besonders empfindliche Schädigung des Pflanzenwuchses durch Trockenheit zur Zeit der stärksten Produktion, dass auch noch andere physiologische Funktionen unter diesen Umständen geschädigt werden (Wollny: Forsch. 1889, p. 431).

Ferner geht die Produktion von organischer Substanz in reiner Kohlensäure sehr viel langsamer vor sich, ja wird auf die Dauer unmöglich, als wenn dieses Gas durch andere unschädliche Gase, gleichviel ob durch Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenoxyd etc. verdünnt ist*), oder ob endlich diese Verdünnung durch Verminderung des Druckes erreicht wird. Es ist dies ganz in Übereinstimmung mit der allgemeinen Erfahrung, dass die Kohlensäure, sofern sie nicht Verwendung findet, mehr oder weniger giftige Eigenschaften für alle Organismen hat.

Hiermit sind jedoch die Bedingungen zum Zustandekommen jenes Produktionsprozesses keineswegs erschöpft. Auf die Unerlässlichkeit einer weiteren Bedingung werden wir durch folgende Betrachtung hingewiesen. Zur Produktion von organischer Substanz aus unorganischem Material muss, wie wir gesehen haben, ein Reduktionsprozess vollzogen werden. Sauerstoff muss austreten, um irgend einen der in der Pflanze vorkommenden organischen Stoffe aus Kohlensäure und Wasser zu erzeugen. Wenn nun das Entgegengesetzte von diesem Prozesse stattfindet, wenn organische Substanz unter Aufnahme von Sauerstoff in Kohlensäure und Wasser zerfällt oder, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, zu Kohlensäure und Wasser *verbrennt*, so wird *Wärme frei*, oder wenn ich die Verbrennung in Apparaten von gewisser Einrichtung, wie z. B. im tierischen Muskel oder unter dem Kessel einer Dampfmaschine vornehme, so wird, neben einer geringeren Menge Wärme, mechanische Bewegung, also wieder eine andere Form von Kraft**) erzeugt.

Wenn wir nun die Grundsätze des Gesetzes der Erhaltung der Kraft im Auge behalten und uns daran erinnern, dass dieses Gesetz genau dasselbe von der *Ewigkeit* (Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit) der *Kraft* aussagt, was wir seit Lavoisier für den *Stoff****) erkannt haben, so wissen wir, dass überall, wo wir eine Kraft auftreten sehen, gleichviel in welcher Form, als Wärme, mechanische Bewegung, elektrische, chemische Spannkräfte, oder in irgend einer anderen Gestalt, wir diesem Gesetze gemäss die Berechtigung haben, nach dem Ursprung dieser Kraft zu fragen, da uns dessen Grundsätze verbieten, einen Vorgang stillschweigend anzunehmen, bei welchen irgend eine solche Kraft aus dem Nichts erzeugt wird. Mit genau derselben Notwendigkeit, mit der wir schliessen, dass irgend ein chemisches Element, das wir bei einem chemischen Prozess aus einer Substanz austreten sehen, in der-

*) Boussingault, ebenda p. 302 und Boehm: Sitz.-B. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 66, 1872, Nov.-Heft. Ähnliche Beobachtungen auch bei Wasserpflanzen in kohlensäurereichem Wasser, vergl. namentlich P. Schützenberger: Compt. rend. 1873, juillet 28. Merkwürdigerweise scheint bei Luftpflanzen sowohl als bei Wasserpflanzen das Optimum nahe bei 10% Kohlensäure in der Luft resp. im Wasser zu liegen. Doch geht schon weit unter dem Optimum (schon bei 0,3% CO_2) der Prozess beinahe ebensogut von statten. Vgl. U. Kreusler a. a. O.

**) In diesen Vorlesungen wird noch immer der veraltete Ausdruck „Kraft“ gebraucht, wo derselbe in der Sprache der Physiker durch das jeden Doppelsinn vermeidende, aber weniger anschauliche „Energie“ ersetzt ist.

***) Bei dem Aussprechen dieses Satzes ist es gut, sich zu erinnern, dass „Stoff“ begrifflich nichts anderes ist als ein Rückstand der Erscheinungen, nachdem man von denselben einige „Kräfte“ hinweg-abstrahiert hat, und selber gemessen wird durch eine Kraft, die Schwerkraft. Behält man dies im Auge, so erscheint der Lavoisier'sche Satz nur als ein besonderer Fall des allgemeinen Gesetzes der Erhaltung der Kraft.

selben enthalten gewesen und bei der Entstehung jener Substanz in irgend einer Form in dieselbe eingetreten sein muss, werden wir auch zu dem Schlusse gedrängt, dass irgend eine Kraft, die wir bei irgend welchem Prozess auftreten sehen, bei dem diesem Prozess entgegengesetzten Vorgang gebunden worden ist und schon vorher in irgend einer anderen Form vorhanden gewesen sein muss. Wir werden mit andern Worten berechtigt sein, nach dem Ursprung dieser Kraft bei jenem entgegengesetzten Vorgang zu fragen.

Wenden wir diese Prinzipien allgemeinster Geltung auf unseren vorstehenden Fall an. — Wir sehen bei der Verbrennung der organischen Substanzen, wie sie in der Pflanze erzeugt werden, Wärme oder, unter den vorhin bezeichneten Umständen, eine der anderen Formen von Kraft auftreten. Die gesamte Wärme aller unserer Heizapparate, die gesamte Wärme und mechanische Bewegung aller unserer Dampfmaschinen, alle Wärme und mechanische Bewegung des ganzen Tierreichs sind dieses gemeinsamen Ursprungs; denn nur durch Verbrennung von organischer Substanz (im weitesten Sinne des Worts) können die genannten Kraftäusserungen unterhalten werden, da andere reduzierte Stoffe entweder auf unserer Erde nicht für diesen Zweck vorrätig sind und jedenfalls nicht von den Tieren verbraucht werden können. Diese Kraft kann aber bei den Verbrennungsprozessen nicht neu erzeugt worden sein; denn ein solcher Vorgang wäre nach den eben ausgesprochenen gemeingültigen Gesetzmässigkeiten eine Unmöglichkeit. Dieselbe muss vielmehr in irgend einer anderen Form vorher vorhanden gewesen sein.

Es ist nun nach einer kurzen Überlegung sofort anzugeben, in welcher Form diese Kraft vor dem Stattfinden dieses Verbrennungsprozesses vorhanden gewesen ist, — offenbar in der Form von chemischer Affinität zwischen organischer Substanz und Sauerstoff, denn der Äusserung dieser Affinität schreiben wir ja den Verbrennungsprozess mit seinen Phänomenen der Wärmeerzeugung u. s. w. zu. Diese chemische Affinität ist nun nach unseren Vorstellungen die Anziehungskraft zweier Körper, nämlich der kleinsten Teilchen der beiden verbindungsfähigen Stoffe, welche vorerst durch irgend einen Umstand verhindert sind, dieser Anziehungskraft, die sonst ihre kleinsten Teilchen in Bewegung versetzen würde, Folge zu leisten: also *Spannkraft* (potentielle Energie, nach der Ausdrucksweise des Gesetzes der Erhaltung der Kraft, „Arbeitsvermögen des Ortes“, wie sich die Holländer charakteristisch ausdrücken).

Der Zustand, in dem sich die organische Substanz dem Sauerstoff gegenüber befindet, ist genau der eines Steines, welcher von der Erde ein Stück in die Höhe gehoben ist, wenn er durch irgend ein Hindernis, z. B. durch Befestigung an einem Faden, am Herabfallen verhindert wird. In beiden Fällen haben wir es mit zur Zeit unbefriedigten Anziehungskräften zu thun, die nur auf Beseitigung des der Vereinigung entgegenstehenden Hindernisses (Abschneiden des Fadens in einem — Erhitzen auf die Verbrennungstemperatur im anderen Falle) warten, um aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung, aus dem Zustande der Spannkraft in den der lebendigen Kraft, aus dem Zustande der potentiellen Energie in den der aktuellen Energie überzugehen. (Oder nach der Ausdrucksweise der Holländer ist Arbeitsvermögen des Ortes in Arbeitsvermögen der Bewegung übergegangen.)

So gut wir nun aber in dem gewählten Beispiel berechtigt und verpflichtet sind, wenn wir gewiss wissen, dass der Stein seiner Zeit auf der Erde gelegen hat, zu fragen: Was hat den Stein gehoben? welcher Leistung entstammt die Kraft, die sich beim Herabfallen des Steines in Form von mechanischer Bewegung und nach seinem Auffallen auf die Erde in Form von Wärme kundgiebt? so dürfen und müssen wir auch Nachforschungen anstellen, welcher Form von Kraft die Wärme oder die mechanische Bewegung entstammt, die wir beim Verbrennen der organischen Substanz regelmässig auftreten sehen, da wir ja gewiss wissen, dass die organische Substanz (und mithin die chemische Spannkraft zwischen derselben und dem Sauerstoff, die bei der Verbrennung ausgelöst wird) nicht vom Anfang aller Dinge an existiert hat, uns ja vielmehr der Prozess genau bekannt ist, durch den diese organische Substanz Entstehung genommen hat. Mit anderen Worten — und das „ist der langen Rede kurzer Sinn" —: bei dem Prozess der Entstehung von organischer Substanz muss eine Kraft mitwirken, die jene chemische Affinität gleichsam erst in Spannung versetzt.

In dem für diesen Prozess zur Verfügung stehenden Material, der Kohlensäure und dem Wasser, war ja die chemische Affinität, welche die reduzierten Substanzen gegen den Sauerstoff äussern, in dem Zustande der Sättigung, also keine chemische Spannkraft vorhanden. Die jene Anspannung erst bewirkende *Kraft muss nothwendig*, ebenso wie das Vorhandensein von Kohlensäure und Wasser und einer lebenskräftigen chlorophyllhaltigen Zelle, *eine der unerlässlichen Bedingungen der Bildung von organischer Substanz sein*, die wir alle einzeln aufzusuchen uns vorgenommen haben.

Wir werden sogleich uns der Untersuchung unterziehen, in welcher Bedingung der Produktion von organischer Substanz wir jene Kraftquelle zu suchen haben werden. Zuerst möchte ich noch auf die weitergehende Bedeutung des von uns ins Auge gefassten Prozesses, die sich nach der eben verfolgten Betrachtungsweise gegenüber der rein chemischen Anschauung desselben ergiebt, aufmerksam machen.

Vom rein chemischen Gesichtspunkte aus, den man schon lange, ehe man über die Quellen der Krafterzeugung klare Vorstellungen besass, in Bezug auf jene Thätigkeit der grünen Pflanze eingenommen hatte, besteht diese Thätigkeit wesentlich in der Vornahme eines Reduktionsprozesses, während man für das tierische Leben (oder strenger für das Leben der nicht chlorophyllführenden Organismen) den Oxydationsprozess für charakteristisch erkannt hatte. Man war durch diese Anschauungsweise schon zu sehr anziehenden Betrachtungen über die sich *gegenseitig bedingende Lebensweise der beiden Reiche*, infolge ihres einander entgegengesetzten Gasaustausches gelangt. Es wird später von dieser Abhängigkeit die Rede sein.

Weit wichtigere Gesichtspunkte eröffnet uns indessen die Anwendung der Prinzipien der Erhaltung der Kraft auf den vorliegenden Fall. Wir haben aus der soeben angestellten Betrachtung gelernt, dass bei dem Reduktionsprozess, genannt: Produktion von organischer Substanz, notwendigerweise Kraft gebunden werden muss, die nachher gleichsam in der organischen Substanz sich aufspeichert und dann, wenn diese von den Tieren als Nahrung aufgenommen wird und durch die Lunge derselben Sauerstoff hinzutritt, in den genannten Formen frei wird, dass also bei

*jenem Reduktionsprozesse in der chlorophyllhaltigen Zelle Arbeit**), und zwar *„chemische“ Arbeit geleistet wird*, während bei dem entgegengesetzten chemischen Vorgang, der Verbrennung, eine Quelle für weitere Arbeiten sich eröffnet, genau so wie auch zur Hebung jenes Steines die Leistung einer mechanischen Arbeit durchaus notwendig ist.

Wir werden daher zweckmässigerweise bei unseren nun folgenden Betrachtungen, um an diesen Sachverhalt zu erinnern, von der Entstehung der organischen Substanz aus Kohlensäure und Wasser stets sprechen als von einer chemischen Arbeit, der *„Produktionsarbeit“*. Wir werden dann immer das „Kraftverzehrende“ dieses Prozesses im Auge behalten und stets daran denken, dass ein solcher nur bei Gegenwart einer arbeitsfähigen äusseren Kraft von statten gehen kann, zum Unterschied von der Mehrzahl der chemischen Prozesse, bei denen nur innere Kräfte (Affinitäten) wirken und bei denen wie beim Verbrennungsprozesse chemische Spannkraft verloren geht, d. h. als Wärme frei wird. Diese letzteren chemischen Prozesse sind streng von den *chemischen Arbeiten* auseinanderzuhalten.

Die erläuterte Betrachtungsweise befähigt uns nun zu der Erkenntnis eines weit innigeren Verhältnisses zwischen Tier- und Pflanzenwelt, als es die Beachtung des Stoffwechsels zwischen beiden Reichen allein zu gewähren vermag. Die Kräfte, über welche die Tierwelt verfügt, auf die alle die von ihr veranlassten Bewegungen zurückgeführt werden können, sind samt und sonders durch die Thätigkeit der grünen Pflanze gesammelt worden. Wir gelangen so neben dem Überblick eines Kreislaufs des Stoffs durch beide Reiche, den wir lange gekannt haben, zu einem Überblick eines Kreislaufs (wenn auch keines völlig geschlossenen) der Kraft, der uns schon jetzt mit Bestimmtheit auf die Abhängigkeit alles tierischen Lebens (oder schärfer des Lebens aller chlorophyllfreien Organismen) von dem Gedeihen der chlorophyllhaltigen Pflanzen hinweist. Ich habe es für wichtig genug gehalten, schon jetzt auf diesen Gesichtspunkt aufmerksam zu machen.

Soweit in unseren Betrachtungen vorgeschritten, wird es nun unsere Aufgabe sein, die Kraft aufzusuchen, welche die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu leisten berufen ist. *Diese Kraft* wird notwendig *eine weitere unentbehrliche Bedingung der Produktion von organischer Substanz* und, wie wir jetzt schon mit Gewissheit folgern können, weiterhin des gesamten Pflanzenlebens und der Existenz der ganzen organischen Schöpfung sein müssen.

Es erfordert kein übergrosses Nachdenken und keine sehr schwierigen physiologischen Experimente, um dieser gesuchten Kraft, dieser soeben auf rein deduktivem

*) Der Ausdruck Arbeit, der seit langer Zeit in der Mechanik und, seitdem man alle Naturerscheinungen auf Bewegungserscheinungen zurückzuführen bestrebt ist, in einem viel weiteren Sinne in Bezug auf die Wechselwirkung der einzelnen Naturkräfte Anwendung findet, ist ursprünglich von der Muskelanstrengung, die notwendig ist, um irgend eine mechanische Bewegung herbeizuführen oder abzuändern, hergenommen und wird, trotz dem Bestreben der Physiker, den Begriff mehr zu einem Maasse der Energie umzubilden, noch immer entsprechend dieser Ableitung vorzüglich dann angewendet, wenn es sich um irgend einen Vorgang handelt, bei dem eine vorhandene Kraft in ihrer bisherigen Form zu Grunde geht.

Wege (d. i. durch Schlussfolgerungen aus schon bekannten Sätzen) abgeleiteten Bedingung des Produktionsprozesses auf die Spur zu kommen, und in der That hat man dieselbe schon sehr frühe als eine solche Bedingung anerkannt und experimentell festgestellt, freilich ohne damals den eben dargelegten Zusammenhang zwischen der Leistung dieser Kraft und der Verbrennungswärme der organischen Substanz auch nur entfernt zu ahnen.

Unter den (experimentell leicht festzustellenden) Bedingungen des Produktionsprozesses sind nur zwei, hinter denen wir Quellen solcher Kräfte, die jene chemische Arbeit zu leisten im stande wären, vermuten können. Dies sind die stets zum Zustandekommen dieses Prozesses erforderliche *Wärme* und das gleichfalls zu demselben unentbehrliche *Licht*. In einer von diesen Bedingungen muss notwendig die gesuchte Kraft verborgen sein, und es wird uns nicht schwer fallen, die Entscheidung zu treffen.

Znnächst werden wir einen Beleg dafür beizubringen haben, dass die Anwesenheit von Wärme und Licht wirklich Bedingungen sind, die erfüllt sein müssen, damit neue organische Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle Entstehung nimmt. Nichts ist leichter als die Feststellung dieses Sachverhalts. Es giebt eine Reihe von Versuchsanstellungen, deren methodologische Grundlagen indessen vielleicht an dieser Stelle noch nicht klar eingesehen werden können, welche die behauptete Abhängigkeit des in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden Produktionsprozesses von Wärme und Licht demonstrieren. Wir wissen, dass bei diesem Prozesse organische Substanz und Sauerstoff gleichzeitig gebildet wird. Das Auftreten neuer Mengen von organischer Substanz und das von Sauerstoff sind also notwendige Symptome des Prozesses, dessen Bedingungen zu ergründen wir uns zur Aufgabe gemacht haben; und so bedient man sich zweckmässig bei der experimentellen Feststellung dieser Bedingungen der Beobachtung eines dieser Symptome als sicheres Anzeichen des Stattfindens jener chemischen Arbeit. Also man konstatiert entweder die Bildung von organischer Substanz durch die Wage, indem man den Gehalt einer Pflanze, der es unmöglich gemacht ist, schon fertig gebildete organische Substanz von aussen aufzunehmen, an solcher vor und nach der Anstellung des Experiments (durch Wägen der resp. Trockensubstanzen und der Aschengehalte) bestimmt, oder auch, indem man mit bewaffnetem Auge die Zunahme gewisser innerhalb der Chlorophyllkörner sich ausscheidenden organischen Substanzen beobachtet. Oder aber, wenn man die andere Seite der Erscheinung als Anzeichen benutzen will, man misst den in gasförmigem Zustande aus der chlorophyllhaltigen Zelle sich entwickelnden Sauerstoff auf die eine oder andere Weise.

Nach allen diesen Methoden ist es leicht festzustellen, dass jene Erscheinungen ausbleiben, wenn man der Zelle, in der sich der Reduktionsprozess vollziehen soll, die Wärme soweit entzieht, dass sie eine gewisse (im allgemeinen nicht näher zu präzisierende) Minimaltemperatur überschreitet; und zwar liegt diese Minimaltemperatur in allen bekannten Fällen nur wenig höher als die Temperatur, bei welcher der Zellsaft zu Eis erstarrt, so dass nicht etwa jene Thätigkeit nur durch diesen Umstand gestört wird. So wurde z. B. von Boussingault*) festgestellt, dass die

*) Compt. rend. 1869. I. p. 414. Vergl. auch die Angaben von Kraus: Über Stärkebildung (Pringsh. Jahrb. VII, p. 511, und Ökonom. Fortschr. 1869, p. 236).

grünen Nadeln der Schwarzföhre, die wie alle grünen Blätter umfangreiche Komplexe von chlorophyllhaltigen Zellen darstellen, selbst bei 0,5°—2,5° C. über Null, die Blätter einer Grasart bei einer Temperatur von 1,5°—3,5° noch Kohlensäure zu zersetzen (Sauerstoff auszuscheiden) vermögen, vorausgesetzt natürlich, dass alle übrigen Bedingungen zum Zustandekommen dieses Prozesses erfüllt sind, und in neuester Zeit hat man sogar noch in einzelnen Fällen eine geringe Produktion bei —2,2° wahrgenommen *). Die obere Grenze des Vorgangs liegt jedenfalls sehr hoch und scheint nahe der Tötungstemperatur**) zu sein, während das Optimum bei mittleren Temperaturen (25°—40°) gesucht werden muss, aber sich wegen der Kompliziertheit der dabei mitwirkenden Faktoren nicht genau bestimmen lässt. — Es ist auch insofern von Interesse, die obersten und untersten Grenztemperaturen des Produktionsprozesses zu kennen, weil von diesen voraussichtlich Anfang und Ende des organischen Lebens auf der erkaltenden Erde abhängig war und sein wird.

In gleicher Weise und mit ganz ähnlichen Methoden konnte aber auch schon in früher Zeit eine deutliche Abhängigkeit des in Rede stehenden Prozesses *vom Lichte* nachgewiesen werden. Damit die Symptome des Zuwachses von organischer Substanz oder der Ausscheidung von Sauerstoffgas beobachtet werden konnten, war es durchaus notwendig, dass das grüne Organ, mit dem man experimentierte, Licht von einer gewissen Intensität empfing. Im Dunkeln oder auch nur im Dämmerlichte konnte niemals Gewichtszunahme an organischer Trockensubstanz, niemals Zersetzung von Kohlensäure und Ausgabe von Sauerstoff bemerkt werden.

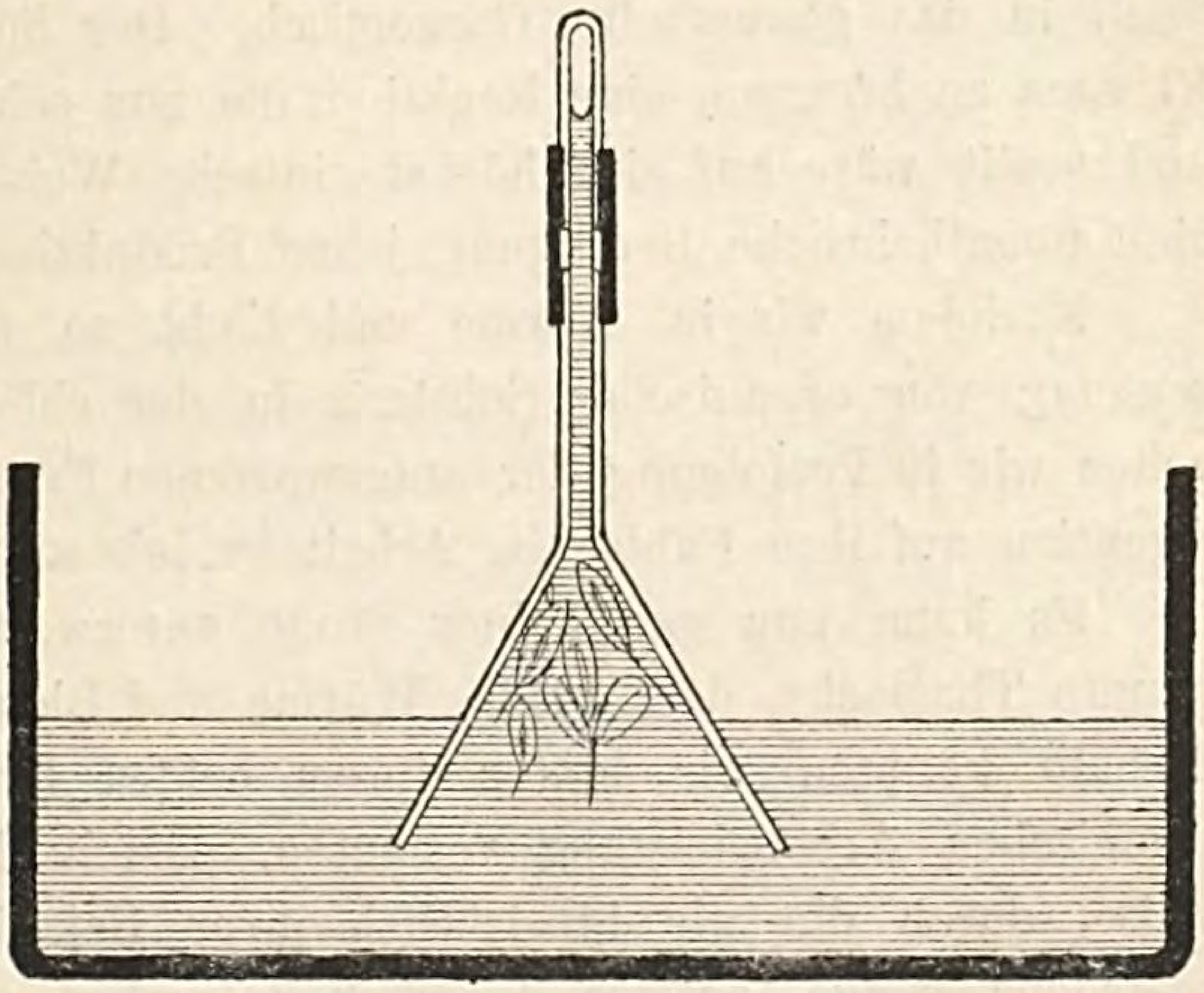


Fig. 2.

Ich kann durch einen einfachen Versuch, den ich schon vor Beginn der Vorlesung in Gang gesetzt habe, und auf dessen Resultat ich jetzt die Aufmerksamkeit zu lenken bitte, den Beweis für diese Abhängigkeit der Sauerstoffabscheidung vom Lichte führen. Dort am Fenster im hellen Sonnenscheine ist ein umgekehrter, mit kohlensäurehaltigem Wasser angefüllter Trichter in einer Wasserwanne aufgestellt. Derselbe enthält zugleich eine grössere Menge frischer lebender grüner Blätter und ist nach oben zu vermittelst eines Kautschukschlauchs mit einem kleinen Reagenzglas verbunden, das

*) U. Kreusler: Landw. Jahrb. 1888, p. 161. Bei Pflanzen, die höheren Kältegraden widerstehen, will Jamelle auch noch Produktion bei viel niedrigeren Temperaturen wahrgenommen haben (Compt. rend. 112, p. 1462).

**) Beinahe 50° C. bei Rubusblättern durch Kreusler. Von Schützenberger wird auf Grund von Versuchen (Compt. rend. 1873, II) behauptet, dass eine Wasserpflanze, auf 40—50° erhitzt, ihre Produktionsfähigkeit einbüsst, doch aber noch fortlebt.

den Binnenraum des Trichters von der freien Kommunikation mit der Atmosphäre abschliesst und die Ansammlung des von den Blättern sich entwickelnden Gases gestattet. Es ist deutlich zu ersehen, dass die Gasmenge in dem Reagenzglase infolge des Aufsteigens der von den Blättern sich ablösenden Gasblasen in der Zunahme begriffen ist, und da bei Beginn des Versuchs auch das Reagenzglas bis obenhin mit Wasser angefüllt war, so rührt die ganze in demselben befindliche Gasmenge von jener Ausscheidung durch die grünen Blätter her.

Ich hebe dort neben dem Apparate einen Pappkasten auf, und es zeigt sich unter demselben ein ganz gleicher Apparat, in dem eben solche Blätter enthalten sind, der sich aber die ganze Zeit über, seit Beginn des Versuchs unter dem nach allen Seiten verschlossenen Kasten im Dunkeln befunden hat; und siehe da, das Reagenzglas in demselben ist noch völlig mit Wasser angefüllt; — kein Gas hat sich in demselben gesammelt oder doch nur soviel, als sich aus der Erwärmung und der unter diesem Umstande geringeren Löslichkeit der im Wasser absorbierten Gase erklären lässt.

Ich nehme nun das Reagenzglas des belichtet gewesenen Apparates vorsichtig unter Wasser ab, verschliesse es mit dem Daumen und tauche nun diesen glimmendén Span in das gesammelte Gasgemisch. Der Span erglüht lebhaft und beginnt mit Flamme zu brennen, eine Reaktion, die nur sehr sauerstoffreiche Gasgemische zeigen, und somit wäre auf eine höchst einfache Weise nachgewiesen, dass auch das Licht eine unentbehrliche Bedingung jenes Produktionsprozesses ist*).

Nachdem wir in Wärme und Licht so mit Sicherheit Bedingungen der Erzeugung von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle erkannt haben, gehen wir in Verfolgung der aufgeworfenen Frage weiter vor und prüfen jene beiden Agentien auf ihre Fähigkeit, Arbeit zu leisten.

Es kann nun gar keiner Frage unterworfen sein, denn es ist eine längst erkannte Thatsache, dass beide, Wärme und Licht, Formen von Kraft darstellen, und deshalb konnten wir hinter diesen beiden Kräften von vornherein Quellen jener chemischen Arbeitsleistung vermuten. Allein bei nur etwas präziserer Ausdrucksweise, durch die wir hinsichtlich ihrer Befähigung zur Arbeitsleistung ganz verschiedene Dinge auseinanderzuhalten suchen werden, die man im gewöhnlichen Leben gemeinhin als Wärme bezeichnet, werden wir finden, dass in dem uns vorliegenden Falle *nur in der einen* jener unerlässlichen Bedingungen eine Kraftquelle, befähigt zur chemischen Arbeitsleistung, verborgen sein kann. Nach der so vorgenommenen Herleitung werden wir auch für das gewonnene Resultat die experimentelle Bestätigung suchen und finden.

Wir wissen zunächst allerdings, dass Wärme unter gewissen Umständen Arbeit zu leisten im stande ist, d. h. dass die in einem Körper vorhandene Wärme sich vermindern kann, ohne dass dafür ein anderer Körper entsprechend erwärmt wird, und dass dabei an Stelle dieser verschwundenen Wärme irgend eine andere Form

*) Das (viele Algen enthaltende) Meer ist im Sonnenschein reicher an Sauerstoff, ärmer an Kohlensäure als bei bewölktem Himmel. Vergl. Lewy: Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 58, p. 326.

von Kraft auftritt. Ein spezieller Fall einer solchen Arbeitsleistung durch die Wärme ist die sogenannte chemische Arbeit, mit welcher Form wir es im vorliegenden Falle zu thun haben. Bei dieser tritt an der Stelle der verschwundenen Wärme eine vorher gesättigte chemische Affinität im freien Zustand auf, oder, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, zwei miteinander chemisch verbundene Körper werden in Freiheit gesetzt, wozu die Arbeitsleistung in einem Auseinanderreissen der Moleküle besteht.

Allein — und nun kommen wir zu einem sehr beachtenswerten Punkte — wenn man sich im populären Sprachgebrauche so ausdrückt, dass Wärme im stande sei, in andere Formen von Kraft überzugehen und so eine Arbeit zu leisten, so will man damit nicht ausdrücken, dass ganz beliebige Wärme, die Wärme z. B., die in einem jeden Körper steckt, der eine über den absoluten Nullpunkt erhabene Temperatur besitzt, im stande sei, diesen Übergang zu machen. Die Erfahrung lehrt vielmehr, dass dies nicht der Fall ist, und es ist selbstverständlich vor allem zur Beurteilung der aufgeworfenen Frage notwendig, sich über die Umstände klar zu werden, unter denen Wärme im stande ist, diesen Übergang zu machen oder, wie wir sagen, eine Arbeit zu leisten.

Die Erfahrung lehrt, dass *nur Wärme* kontinuierlich *eine Arbeit zu leisten im stande ist, die in Form einer Temperaturdifferenz* zweier Körper zur Verfügung steht und noch dazu keine dieser Temperaturdifferenz äquivalente Menge Arbeit, sondern nur ein Bruchteil jener Grösse, welche von der *absoluten Temperatur* abhängig ist*). Die Konstruktion einer arbeitenden Maschine nach dem Prinzip der Dampfmaschine (welchen Namen sie auch immer haben mag) ist undenkbar, wenn nicht zwei Körper vorhanden sind, die in dauernder Temperaturdifferenz sich befinden, entsprechend: Dampfkessel und Kondensator, oder bei Hochdruckmaschinen: Dampfkessel und äussere Luft; und es ist eine unerlässliche Bedingung zur Arbeitsbefähigung dieser Maschinen, jene Temperaturdifferenz immer wieder von neuem herzustellen. Es ist nach unserer Erfahrung ganz und gar unmöglich, etwa die ganze absolute Wärme**), die einem jeden Körper unserer Umgebung innewohnt, bis herab zu dessen Erkaltung auf den absoluten Nullpunkt oder auch nur einen Bruchteil derselben zu Arbeitsleistungen zu verbrauchen. Wir sind nur im stande, die Wärme eines solchen Körpers bis zu seiner Abkühlung auf die Temperatur eines andern neben ihm befindlichen zu diesem Zwecke in Anspruch zu nehmen***).

*) Vergl. Rankine: Ann. chim. et phys. 1867, Nov.

**) Siehe Clausius: Über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie, ein Vortrag 1867; und Naumann: Grundriss d. Thermochemie 1869, p. 127. In der ersten dieser Schriften findet sich eine ziemlich leicht verständliche theoretische Entwicklung des Satzes, dessen Folgerungen im Texte als Erfahrungssatz zu behandeln wir uns begnügen mussten.

***) Es darf hier nicht verschwiegen werden, dass gewisse Arbeiten allerdings geleistet werden können durch die „absolute" Wärme, die ein Körper besitzt, ohne dass eine Temperaturdifferenz vorhanden ist, also dass bei der Arbeitsleistung der Körper sich unter die umgebende Temperatur abkühlt. Dies findet z. B. statt bei Verminderung des Druckes über einer nahe an ihren Siedepunkt erwärmten Flüssigkeit, die alsdann unter Abkühlung den noch

Die Sonne z. B. vermag nur deshalb auf der Erde Bewegungserscheinungen hervorzurufen, weil sie wärmer ist als diese. Wären beide von gleicher Temperatur, so würde durch ihre gegenseitige Bestrahlung keine Massenbewegung erzeugt werden können.

Dieser Satz, den wir hier nicht theoretisch verfolgen, sondern einfach als ein empirisch Erkanntes auffassen wollen, zeigt uns, dass, obwohl eine vollkommene Äquivalenz der verschiedenen Kräfte untereinander besteht, doch der Übergang dieser Kräfte ineinander an gewisse Bedingungen geknüpft ist, dass, während mechanische Bewegung überall mit Leichtigkeit durch Reibung und Stoss den Übergang in die Molekularbewegung der Wärme zu machen im stande ist, ganz gewisse Umstände gegeben sein müssen, damit das Umgekehrte stattfinden kann.

Dieses Verhalten ist es unter anderem, das unsere mathematischen Physiker zu der Annahme drängt, unser Planetensystem, ja die ganze Welt strebe zur Zeit, wegen der stets vorwiegenden Umwandlung, in einer Richtung einem Zustande der Ruhe unter Erhöhung der mittleren Temperaturen (Maximum der Entropie) zu. Die unerschrockene Konsequenz aus den von uns bis jetzt erkannten Gesetzmässigkeiten sagt aus, dass sich die mechanische Bewegung (Massenbewegung) mehr und mehr verliere und alle Kraft des Universums sich als Wärme (Molekularbewegung) ansammle, bis schliesslich die Temperatur aller Weltkörper sich ausgeglichen habe und kein Anstoss zu irgend einer Bewegung mehr vorhanden sei*).

Wir kehren jedoch zu unserem Gegenstande zurück und machen für denselben Anwendung von dem eben besprochenen Satze. Wir müssen denselben zunächst zu erweitern suchen und zusehen, ob er auch für chemische Arbeiten Anwendung findet, ob auch die Wärme bloss im stande ist, chemische Arbeiten zu leisten, wenn sie in Form einer Temperaturdifferenz vorhanden ist, oder ob derartige Arbeiten auch stattfinden können auf Kosten der absoluten Wärme, die in irgend einem Körper enthalten ist.

In der That, auch hier lehrt die Erfahrung, dass eine kontinuierliche chemische Arbeit nur geleistet werden kann, wenn die Wärme in Form von Temperaturdifferenz, oder wenn andere äussere Kräfte vorhanden sind. Es ist keine Zusammenmischung

auf ihr lastenden Druck zu überwinden, eine Arbeit zu leisten vermag. Dabei ist hervorzuheben, dass jene Druckverminderung ohne eine erhebliche Arbeitsleistung, z. B. durch blosses Verschieben eines Gewichtes vorgenommen werden kann. — Allein um solche Arbeitsleistung kann es sich in unserem Falle nicht handeln, da man es ja in demselben, wenn man die produzierte organische Substanz sich wieder verbrannt denkt, sonst mit einer negativen Verwandlung (Clausius) zu thun haben würde, die nicht ohne eine gleichzeitig stattfindende positive vor sich gehen kann. Für diesen Ort genügt indessen die Bemerkung, dass es auch durch die sinnreichste Zusammenstellung nicht möglich ist, eine Maschine zu erfinden, die fortdauernd durch eine solche Arbeit in Betrieb erhalten wird, und auf diese Weise das billige und unerschöpfliche Reservoir unserer Erde an Wärme zur Umwandlung in mechanische Bewegung zu veranlassen. Vergl. übrigens die etwas ausführlichere und strengere Darlegung, Adolf Mayer: Landw. Versuchsstation, Bd. 14, p. 176.

*) Diese Folgerung ist trotzdem, wie W. Thomson gefunden hat, mit dem metaphysischen Postulate einer Ewigkeit der äusseren Welt vereinbar, indem Fälle ausgedacht werden können, durch welche die verteilte Molekularbewegung wieder zur Massenbewegung sich anhäuft.

von Stoffen erfindbar, bei der eine Vermehrung der inneren chemischen Spannkräfte auf Kosten der absoluten Wärme des Gemisches, also eine Abkühlung derselben unter die Temperatur der Umgebung eintritt.

Wir stossen hier auf einen von der reinen Chemie zwar häufig vernachlässigten, aber doch höchst wichtigen Satz von allgemeiner Geltung, der als eine Erweiterung des vorhin ausgesprochenen angesehen werden muss. Derselbe lautet: *Überall, wo eine chemische Vereinigung, eine chemische Reaction* im gewöhnlichen Sinne des Worts, *eine exothermische Erscheinung*, wie man dies neuerdings genannt hat, *stattfindet, verschwinden chemische Spannkräfte, diese treten bei dem Akte der Vereinigung als Wärme auf; überall aber, wo* das Umgekehrte einer chemischen Vereinigung, *eine chemische Zersetzung oder eine „endothermische" Erscheinung eintritt, müssen entweder äussere Kräfte, als da sind mechanische Bewegung, Licht, Wärme als Temperaturüberschuss, elektrische Kräfte oder stärkere chemische Kräfte vorhanden sein**). Im letzteren Falle ist aber die chemische Zersetzung nur ein Teil des ganzen Vorgangs; es muss eine diese überwiegende chemische Vereinigung gleichzeitig stattfinden, so dass die ganze Erscheinung, in ihrem Zusammenhang betrachtet, gerade wie eine gewöhnliche chemische Vereinigung (eine chemische Reaktion unter Verlust einer gewissen Menge von Spannkräften) angesehen werden muss.

Was im vorstehenden unter Vereinigung und Zersetzung zweier chemischen Körper verstanden ist, entspricht indessen nicht ganz dem gewöhnlichen Sprachgebrauch, insofern nach unseren neueren Anschauungen auch die Atome eines einfachen Körpers sich zu Molekülen vereinigen und dabei auch Affinitäten geltend machen, ein solcher Körper also in den meisten Fällen eine Verbindung, freilich eine Verbindung von gleichartigen Atomen ist. So haben wir es bei den meisten chemischen Vorgängen, die wir gewöhnlich schlechtweg als Vereinigung zweier vorher

*) Dieser Satz, auf dessen weitere Erörterung hier Verzicht geleistet werden muss, erheischt ebenso wie jener vorhin ausgesprochene, mit dem er im Grunde identisch ist, eine Einschränkung. Es giebt chemische Vereinigungen, bei deren Eintritt eine Temperaturerniedrigung unter die Umgebung erfolgt, und wo also die verschwundene Wärme, die sich in vielen Fällen nicht aus der Veränderung der spezifischen Wärme erklären lässt, innere chemische Arbeit geleistet haben und eine Anhäufung von Spannkräften stattgefunden haben muss. Derartige Vorgänge sind Auflösungen gewisser fester Körper in Flüssigkeiten, wie z. B. Lösungen von Salzen in Wasser, die sich dann unter Wärmeentwicklung wieder ausscheiden; aber auch Zersetzung von Chloriden durch Brom. Vergl. über diesen Gegenstand auch Politzin: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. Bd. 17, p. 1308. — Allein auch hier lässt sich wie vorhin aussprechen, dass auf dies Verhalten sich keine kontinuierliche chemische Arbeitsleistung gründen lässt, da sonst die Summe der negativen Verwandlungen die der positiven überragen würde, während nach dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie nur das Umgekehrte stattfinden kann. Eine genauere Darstellung des Gegenstandes ist nur möglich, wenn man die chemische Energie in freie und gebundene unterscheidet, wovon nur die erstere in andere Formen von Arbeit unbeschränkt verwandelbar ist, die letztere aber mit der Wärme auf einer Linie steht. Die letztere kann daher auch auf Kosten dieser entstehen, wodurch dann aber keine kontinuierliche Arbeitsleistung ermöglicht wird. Vergl. Horstmann: Theoret. Chemie 1885, p. 710. Vergl. auch Colley: Zeitschr. f. phys. Chemie V, p. 242.

getrennten Körper, als Verbindung zweier Elemente bezeichnen, mit chemischen Umsetzungen, d. h. mit gleichzeitiger Zersetzung und Verbindung zu thun, und so kann der Fall eintreten, wenn er auch nicht gerade häufig ist, dass bei einem Vorgang, den wir als Zersetzung zu bezeichnen gewohnt sind, wie z. B. von Schwefelkohlenstoff in Schwefel und Kohlenstoff, noch Wärme frei wird*), weil hier in der That eine neue Verbindung, der Schwefel-Schwefel, entsteht, so dass also eine Verbindungsform durch eine andere abgelöst wird, von denen in diesem Falle die letztere eine geringere Summe von chemischen Spannkräften besitzt. Ebenso muss zu der Herstellung der Verbindung des Stickoxyduls aus seinen Elementen eine chemische Arbeit geleistet werden.

Durch die angestellten Betrachtungen sind wir aber zu dem Ausdruck des in Rede stehenden Satzes in der allgemeinen Form, in welcher wir seiner bedürfen, befähigt. *Niemals vermag die Wärme, die nicht als Temperaturüberschuss vorhanden ist, eine kontinuierliche Arbeit zu vollziehen, sei diese nun mechanischer oder chemischer Natur.* Um den Übergang der Wärme in eine andere Form von Kraft dauernd zu ermöglichen, ist es ganz allgemein notwendig, dass diese Wärme einem Körper angehört, in dessen Umgebung ein kühlerer Körper angetroffen wird, und nur die Wärme, die als Temperaturüberschuss des einen Körpers über den andern vorhanden ist, kann zu einem solchen Übergang gelangen.

Daraus folgt aber nun für unsern Zweck unwiderleglich, dass die Eigenwärme der Pflanze unmöglich die Arbeit zu leisten im stande sein kann**), die sich in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, denn die Pflanze pflegt durchschnittlich durchaus nicht wärmer zu sein als die sie umgebenden Medien. Es folgt, dass es ganz falsch wäre, aus dem Umstand, dass die Pflanze, um jene Arbeit zu vollziehen, sich auf einer gewissen Temperaturstufe befinden muss, den Schluss zu ziehen, die Wärme, deren die Pflanze bedarf, sei es, welche die Arbeit der Produktion von organischer Substanz vollzieht; denn die Wärme sei ja bekanntermaassen fähig, Arbeit zu leisten.

Man sieht, wie wichtig es war, jenem wenig präzisen Sprachgebrauch auf den Grund zu gehen. Derselbe hätte uns bei Unterlassung dieser Vorsichtsmaassregel unfehlbar einem grossen Irrtum überliefert. Die Wärme, obwohl eine unerlässliche Bedingung des von uns betrachteten Prozesses, ist es also nicht, welche die gesuchte Kraftquelle in sich birgt, und somit werden wir zu der Annahme gedrängt, dass das Licht oder besser die Sonnenstrahlen, worin ja ebenso eine unentbehrliche Bedingung des Produktionsprozesses erkannt wurde, diese Kraftquelle darstellen.

In der That steht dieser Annahme kein solches Hindernis entgegen, wie wir es für unsere zuerst gehegte Mutmaassung angetroffen haben. Die Sonnenstrahlen

*) Vergl. Naumann: Grundriss der Thermochemie 1869, p. 129.

**) Häufig wird geradezu von einer Bindung von Wärme bei der Sauerstoffabscheidung durch die Pflanzen gesprochen. (Vergl. Sachs: Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl. p. 49, und Fick: Die Naturkräfte in ihrer Wechselbeziehung 1859, p. 41.) Dies darf jedoch nur so verstanden werden, dass die Sonnenstrahlen weniger Wärme in den thätigen grünen Blättern erzeugen, als sie auf einer toten Substanz von gleichem Absorptionsvermögen und sonstigen gleichen Eigenschaften erzeugen würden, nicht als eine Bindung der im Blatte vorhandenen Wärme, so dass sich dieses infolge davon unter die Temperatur der Umgebung abkühlen könnte.

sind ja eben die Form des Übergangs des Kraftüberschusses von einem wärmeren Körper zu einem kühleren, von Sonne zur Erde. Hier ist also das Postulat erfüllt, das uns bei der soeben angestellten Untersuchung unverrückbar entgegengetreten ist. Wir wissen auch mit voller Bestimmtheit, dass solche Strahlen mechanische und chemische Arbeit zu leisten vermögen. Zum Beleg für diese letztere Behauptung erinnere ich nur an die Zerlegung chemischer Verbindungen, wie z. B. der Silbersalze durch das Sonnenlicht oder andere intensive Lichtquellen (wie das Magnesiumlicht), also an einen chemischen Prozess, bei dem zweifelsohne eine Anhäufung chemischer Spannkräfte sich vollzieht und der daher als eine chemische Arbeit aufzufassen ist, während die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Hebung der erwärmten Luft ein Beispiel für ihre Befähigung zur mechanischen Arbeit, in diesem Falle Erzeugung der Winde abgiebt.

Wir sind so unter Zugrundelegung der allgemeinen Sätze über das Prinzip der Erhaltung der Kraft zu dem Schlusse gelangt, dass von den beiden Bedingungen des Produktionsprozesses, die als Kraftformen betrachtet werden müssen, nur das Licht und nicht die Wärme, oder schärfer, nur die Strahlen und nicht die ruhende Wärme die Kraftquelle sein können, welche die zu diesem Prozesse notwendige chemische Arbeit leistet und so der Ursprung derjenigen Kräfte wird, die bei dem umgekehrten Prozesse der Verbrennung der gebildeten organischen Substanz wieder zu Tage treten.

Ich habe nach dieser Herleitung nun aber auch experimentelle Belege für diesen Sachverhalt beizubringen versprochen, und dieselben liegen in der That sehr vollständig vor.

Es ist bekannt, dass, wenn von irgend einer Kraft eine Arbeit verrichtet wird, eine genaue Proportionalität bestehen muss zwischen der Grösse der wirklich zur Leistung in Anspruch genommenen Kraft und dem Effekt der Leistung. Auf dieser Voraussetzung beruht sogar der Begriff des Wortes „Kraft“. Wir wissen z. B., wenn wir zuerst wieder von der chemischen Arbeit absehen, dass genau die doppelte Kraft dazu erforderlich ist, zwei Pfund über eine gewisse Höhe zu heben als ein Pfund über die nämliche Höhe. Die Anzahl der gehobenen Pfunde kann als Maass für die verwendete Kraft benutzt werden.

Ganz dasselbe muss natürlich auch für andere Arbeiten, z. B. für die chemische Arbeit gelten, die bei der Produktion der organischen Substanz vollzogen wird. Auch hier muss die Anzahl der losgetrennten Moleküle Sauerstoff (vorausgesetzt allerdings, dass die vollzogene Arbeit einheitlicher Natur ist) proportional sein der zur Wirksamkeit gelangenden Menge von Kraft. — Bei der mechanischen Arbeit wird ausser der Masse des gehobenen Körpers auch noch die Höhe berücksichtigt, auf die er gehoben wurde. Das Produkt beider Faktoren bildet ein Maass für die Arbeitsleistung. Bei der chemischen Arbeit fällt der Faktor der Höhe weg und die Menge des zersetzten Körpers kann direkt als Arbeitsmaass benutzt werden, da der abgeschiedene Körper, dessen Anziehungskraft zu einem anderen überwunden worden ist, sehr bald aus der Anziehungssphäre dieses anderen Körpers gelangt, von wo an kein Widerstand mehr überwunden zu werden braucht, also gleichsam der abgeschiedene Körper immer auf dieselbe Höhe gehoben wird. — Die Quantität des

produzierten Sauerstoffs oder auch der gebildeten organischen Substanz muss also proportional sein der zur Wirksamkeit gelangenden Menge von Kraft.

Dass für die Wärme nun eine solche Proportionalität nicht bestehen kann, ist leicht daraus ersichtlich, dass die Abhängigkeit der Produktionsarbeit von der Wärme nur insofern besteht, als dieser Prozess innerhalb zweier Grenztemperaturen vor sich geht, dass also die Menge des produzierten Sauerstoffs nicht gleichmässig ansteigt mit der gleichmässig wachsenden Wärmemenge.

Für das Licht ist nun aber eine solche Proportionalität experimentell erwiesen worden, ohne dass freilich der Versuchsansteller ausdrücklich zu dem vorliegenden Zwecke gearbeitet hätte, wodurch indessen das Zeugnis nur an Objektivität gewinnen kann.

Auf den ersten Blick scheint allerdings die Beibringung eines derartigen Nachweises ausser der Möglichkeit, die geleistete chemische Arbeit zu messen (wofür wir einige Methoden besitzen), auch noch die Möglichkeit vorauszusetzen, die Intensität des die Arbeit vollziehenden Lichtes zu messen, — eine Voraussetzung, die nur für gewisse Strahlengattungen unter sich (z. B. für die chemischen Strahlen durch die Bunsen-Roscoe'sche Methode) zutrifft, aber nur schwierig für ganz verschiedene Strahlengattungen in Bezug aufeinander zu erfüllen ist. Diese Voraussetzung erscheint aber unumgänglich, da, wie wir in der nächsten Vorlesung sehen werden, verschiedene Strahlengattungen sich an der chemischen Arbeit der Produktion von organischer Substanz beteiligen.

v. Wolkoff*) hat nun aber ein Verfahren eingeschlagen, bei dem diese Schwierigkeit vollständig umgangen wurde. Derselbe war, vermittelst eines gleich zu beschreibenden Apparats, in der Lage, ganz beliebige und kontrollierbare Intensitäts-Änderungen in der Gesamtmenge des verwendeten komplexen Strahlengemischs vorzunehmen, in einer Weise, dass er sicher war, für jede einzelne jenes Gemisch zusammensetzende Strahlengattung proportionale Intensitätsänderungen vor-

*) Pringsheim: Jahrbücher V, p. 12f. Um eine Vorstellung von der erlangten Übereinstimmung zu geben, führe ich folgende Zahlen aus Wolkoffs Versuchsreihen an:

Ceratophyllum demersum.

	Gemessene Lichtintensität.	Zahl der Blasen pro Min.	Quotient.
I. Versuchsreihe	80	16	5,0
	120	25	4,8
	200	41	4,8
VI. Versuchsreihe	100	25	4,0
	200	50	4,0
	150	36	4,1
	120	30	4,0.

Als ein ähnlicher Beleg kann vielleicht der van Tieghem'sche Versuch (Compt. rend. 1869, II, p. 482) dienen, welcher zeigt, dass die Gasabscheidung aus Wasserpflanzen bei Kerzenlicht im Verhältnis zum Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt. Vergl. ferner U. Kreusler: Landw. Jahrb. 1885, p. 952, 11. Dass die Produktion nicht immer proportional dem Chlorophyllgehalte steigt, hat J. H. Gilbert gezeigt, der durch einseitige Stickstoffdüngung diesen Gehalt ansehnlich steigerte, ohne die Produktion zu vermehren. Vergl. Biederm. Centralbl. 1886, p. 102.

zunehmen. Derselbe hatte es also mit relativ unter sich vergleichbaren Mengen von Strahlen, auch der auf Sauerstoffabscheidung wirkenden, zu thun und konnte nun mit diesen relativen Zahlen die Sauerstoffmengen, die sich entwickelten und gemessen werden konnten, vergleichen.

Der Versuch selbst wurde derart angestellt, dass eine lebende grüne, in kohlensäurehaltigem Wasser untergetauchte Wasserpflanze, deren Sauerstoffausscheidung durch Zählen der entweichenden Gasblasen mit zureichender Genauigkeit ermittelt werden konnte, in einem von allen Seiten geschlossenen, mit einem Schlittenapparate versehenen Kasten sich befand. Der Innenraum dieses letzteren empfing Licht durch eine matte Glasscheibe, und die Pflanze, deren Gasabscheidung von aussen zu beobachten möglich war, konnte durch den Schlitten in eine beliebige Entfernung von der Glasscheibe, die für jene als Lichtquelle betrachtet werden konnte, eingestellt werden. Bei jeder Einstellung war es nun aber möglich, die Menge der chemischen Strahlen für die Entfernung der Pflanze von der leuchtenden Fläche zu ermitteln, und da für alle Strahlengattungen *proportionale* Intensitätsänderungen unter diesen Umständen erfolgen mussten, so konnten jene chemischen Lichtintensitäten zugleich auch als Maass für die Intensität irgend einer andern Strahlengattung, also auch der in der Pflanze die Produktionsarbeit leistenden gelten. Dabei muss bemerkt werden, dass die Versuche sich nur über Zeiträume erstreckten, in denen *erfahrungsmässig* keine erheblichen Änderungen in dem relativen Gehalt des äusseren Lichtes an den einzelnen Strahlengattungen eintreten.

Es gelang auf diese Weise in durchaus befriedigender Weise, *die Proportionalität der Sauerstoffmengen mit den Belichtungsintensitäten* zu demonstrieren*).

So ist denn durch diese Versuche die experimentelle Bestätigung eines wichtigen Satzes der Pflanzenphysiologie beigebracht worden, zu dem man schon vorher auf deduktivem Wege gelangt war. *Das Licht,* welches in früher Zeit, schon in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts (also zur Zeit der Entdeckung des Sauerstoffs) von Ingen-Housz, als eine der Bedingungen der Thätigkeit der grünen Blätter erkannt worden war, *ist diejenige Kraft, welche die zu dem Prozesse der Erzeugung von organischer Substanz notwendige Arbeit leistet.* Nach der Ausdrucksweise der Lehre von der Erhaltung der Kraft geht dabei die aktuelle Energie, die lebendige Kraft des Lichts, in die potentielle Energie, die chemische Spannkraft der gebildeten organischen Substanz einerseits und des entbundenen Sauerstoffs andererseits über. Organische Substanz und Sauerstoff besitzen Affinität zu einander, die aber nicht unter allen Umständen Befriedigung findet. Erst durch das Verbringen dieser Körper auf ihre sogenannte Entzündungstemperatur wird gleichsam der Riegel wieder weggeschoben, der ihre Vereinigung hindert, und alsdann geht die so „aus-

*) Interessant sind die Erfahrungen von Petermann, die in gleicher Hinsicht als eine praktische Bestätigung dieses Satzes gelten können, nämlich der Nachweis in seinen langjährigen Rübenkulturversuchen einer sehr deutlichen Proportionalität zwischen der mittleren Heiterkeit des Himmels und dem Zuckergehalte der Rüben. Vergl. Bull. de l'agriculture 1889 p. 276. Dort ist eine derartige Übereinstimmung natürlich nur unter bestimmten Voraussetzungen, die sich am besten bei Kulturversuchen unter künstlichen Verhältnissen erfüllen lassen, zu erzielen.

gelöste" chemische Spannkraft wieder über in lebendige Kraft, in die aktuelle Energie der nun auftretenden Wärme.

Diese Wärme kann nun wieder unter den vorhin angegebenen Einschränkungen, d. h. soweit sie als Temperaturdifferenz vorhanden ist, übergehen in andere Formen von Kraft, z. B. in elektrische Kraft, wenn ich sie auf die Lötstellen eines Systems ungleichartiger Metallstücke, auf die thermo-elektrische Säule, wirken lasse, oder in mechanische Arbeit, wenn ich jene Verbrennung unter dem Kessel einer Dampfmaschine oder auch im tierischen Muskel vor sich gehen lasse. Dieselbe kann unter diesen letzteren Umständen, je nach der mit der Dampfmaschine oder dem Muskel in Verbindung gesetzten Vorrichtung, benutzt werden zur Hebung von Gewichten und dergleichen, und so wieder in potentielle Energie, in mechanische Spannkraft übergehen oder auch, wenn ich mit ihrer Hilfe ein Schwungrad in Bewegung setze, im Zustand der aktuellen Energie verbleiben, in der Form der lebendigen Kraft eines mechanisch bewegten Körpers. Diese mechanische Bewegung geht nun durch Reibung wieder in Wärme über u. s. w.

Dies sind keine müssigen Betrachtungen. Es ist gerade für unsern Zweck von hervorragender Wichtigkeit, sich klar zu werden über die verschiedenen Formen des Übergangs der einzelnen Kräfte ineinander. Es wird sich in der Folge zeigen, dass manch eine Theorie auf dem Gebiete unserer Wissenschaft sich gegen diese Gesetzmässigkeiten versündigt hat.

Bei Verfolgung der Übergänge, welche die einzelnen Kräfte, welche wir unterscheiden, zu machen im stande sind und täglich vor unsern Augen machen, entrollt sich uns das schöne Bild von der Wechselwirkung der Naturkräfte, welches Helmholtz in seiner Abhandlung gleichen Namens so meisterhaft skizziert hat und das seitdem so oft Gegenstand populär-naturwissenschaftlicher Darstellungen geworden ist. *Die chemische Arbeit, welche das Licht in der grünen Pflanze vollzieht, spielt eine ganz hervorragende Rolle unter diesen Übergängen.* Alle mechanische Arbeit auf unserer Erdoberfläche, die von Organismen ausgeht, also die Bewegung dieser Organismen selbst, sowie die mechanischen Veränderungen, die sie an Aussendingen vollziehen, alle mechanische Arbeit, die von Dampfmaschinen, kalorischen Maschinen etc. geleistet wird, alle tierische Wärme, wie alle sonstige Wärme, die durch Verbrennung organischer Substanzen entwickelt wird, und endlich alle Wärme, die bei der Reibung der eben verzeichneten Bewegungserscheinungen entbunden wird, — alle diese mannigfaltigen Kräfte und Arbeitsleistungen sind den Weg durch die chlorophyllhaltige Zelle gegangen und entstammen mittelbar oder unmittelbar der chemischen Arbeit, welche die Sonnenstrahlen in jenem unscheinbaren Apparat verrichtet haben.

Knop erzählt in seinem Lehrbuche der Agrikulturchemie im ersten Kapitel, wo von dem Übergange der Kräfte ineinander die Rede ist, folgende interessante Anekdote, die er der Biographie des älteren Stephenson, des Erfinders der Lokomotive, entlehnt:

„Eines Sonntags, als man eben aus der Kirche zurückgekommen war, stand „die ganze Gesellschaft und unter ihr Stephenson und Buckland auf der „Terrasse neben dem Schlosse Drayton und schaute einem Bahnzug nach, der

„in der Ferne blitzschnell vorüberflog und einen langen Streifen weissen Dampfes „hinter sich liess. «Nun Buckland!» wandte Stephenson sich zu dem be„rühmten Geologen, «nun sollen Sie mir eine Frage beantworten, die vielleicht „nicht ganz leicht ist. Können Sie mir sagen, welcher Art die Kraft ist, die „jenen Zug dort fortbewegt?» «Nun», erwiderte der Geologe, «ich sollte „meinen, die bewegende Kraft ist eine Ihrer grossen Maschinen.» «Ja, aber „was treibt die Maschine?» «Oh! höchst wahrscheinlich einer Eurer New„castler Lokomotivführer». «Nein, das Sonnenlicht!» — «Wie kann das „sein?» fragte der Doktor. «Ich sage Ihnen, es ist nichts anderes», entgegnete „der Ingenieur: «es ist das Licht, das seit vielen Tausenden von Jahren in der „Erde aufbewahrt liegt; Licht, das von Pflanzen absorbiert wird, ist zur Ver„dichtung des Kohlenstoffs während ihres Wachstums nötig, und nachdem dieses „Licht so lange Jahre in Kohlenfeldern begraben gewesen, wird es wieder zu „Tage gefördert und muss, frei gemacht wie bei dieser Lokomotive, grossen „menschlichen Zwecken dienen.»“

Der grosse Erfinder der Lokomotive hat also schon den Zusammenhang erkannt, den wir jetzt in exakterer Form darzulegen im stande sind*).

In der That entstammen unter allen den mannigfaltigen Bewegungserscheinungen auf der Erdoberfläche nur diejenigen, welche sich auf die Ebbe und Flut (von Wasser, Luft und Festland) oder auf weitere Verdichtung unseres Erdballs zurückführen lassen, nicht der Kraftquelle der Sonnenstrahlen. Die ersteren gehen bekanntlich auf Kosten der lebendigen Kraft der Erde selbst, auf Kosten ihrer Umdrehungsgeschwindigkeit von statten.

Es giebt indessen — und darauf muss hier noch kurz hingedeutet werden — eine andere grosse Klasse von Bewegungserscheinungen auf unserer Erdoberfläche, die zwar auch ihren Ursprung auf die Sonnenstrahlen zurückleiten, aber nicht den Weg durch die chemische Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle gemacht haben, sondern durch die direkt wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen ins Werk gesetzt werden. Dahin gehören der Kreislauf der Luft (die Bewegung der Winde) und der Kreislauf des Wassers durch Atmosphäre und Weltmeer, Gegenstände, die für unsere spätere Darstellung von einiger Bedeutung sind.

*) Auch der Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Kraft: J. R. Mayer erkannte schon in voller Klarheit den von uns dargelegten Zusammenhang; er schrieb in einer seiner Abhandlungen „über die organische Bewegung“ die Worte nieder:

„Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenzen erzeugen.“

„Diese Organismen sind Pflanzen: Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden; eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz des Menschengeschlechts unzertrennlich geknüpft ist und die bei der Anschauung einer reichen Vegetation in jedem Auge ein instinktartiges Wohlgefallen erregt.“

Dritte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die Beteiligung der einzelnen Strahlengattungen an diesem Prozesse.

Werfen wir bei Beginn der heutigen Vorlesung einen kurzen geschichtlichen Rückblick auf die Reihenfolge der Entdeckungen, welche zu der bis jetzt behandelten Erkenntnis geführt haben. Die kontinuierliche Erweiterung und Ergänzung derselben verschafft uns hier besser als bei vielen anderen Errungenschaften ein Bild von der historischen Entwickelung unserer Anschauungen, und die Kenntnis dieses Bildes ist wieder die notwendige Voraussetzung für die richtige Wertschätzung der Errungenschaften unserer eigenen Zeit.

Die an sich leicht zu beobachtende Thatsache, *dass grüne Pflanzen* im Wasser liegend und *von der Sonne beschienen ein Gas ausscheiden,* wurde schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts von C. Bonnet*) beschrieben und zu deuten versucht; dass aber diese Deutung, die sich auch auf die gleichzeitige Beobachtung stützte, dass in ausgekochtem Wasser diese Ausscheidung unterblieb, eine Thatsache, die uns heute wegen des Mangels der Kohlensäure in solchem Wasser leicht verständlich ist, unrichtig bleiben musste, kann uns namentlich bei dem damaligen Zustande der Chemie, zwanzig Jahre vor der Entdeckung des Sauerstoffs, nicht befremden.

Merkwürdig in der Geschichte der Erkenntnis des nun klargelegten Zusammenhangs und auch von Interesse für die Entwickelungsgeschichte der Chemie ist es, dass Priestley schon einige Jahre vor der Entdeckung des Sauerstoffs die wichtige Thatsache beobachtete, dass (grüne) Pflanzenteile (der Sonne ausgesetzt) im stande sind, *eine durch tierische Atmung verdorbene Luft wieder für das Atmen tauglich zu machen***), also den reziproken Gasaustausch von Tier und (grüner) Pflanze so vollständig erkannte, als er überhaupt ohne genaue Kenntnis der dabei beteiligten Gasarten zu erkennen war.

Die eigentliche klar ausgesprochene Entdeckung des thatsächlichen Vorgangs muss jedoch dem holländischen Arzte Ingen-Housz, dessen Werk***) auch heute

*) Bonnet: Sur l'usage des feuilles. 1752. Vergl. auch namentlich p. 26. Ähnliches scheint indessen schon De la Hire 1690 beobachtet zu haben (vgl. Senebier: Expériences sur l'action de la lumière solaire, 1788, p. 41).

**) Philosoph. transactions, 1772, p. 167, 193 ff., namentlich 198. — Dagegen hat Priestley die Betheiligung des Lichtes an dem beobachteten Prozesse nicht klar erkannt und ist wohl infolge hiervon später wieder an seiner Entdeckung irre geworden. Vergl. die Vorrede des gleich anzuführenden Werkes von Ingen-Housz. Aus diesem folgt auch, dass dem Entdecker des Sauerstoffs, Scheele, der Priestley'sche Versuch misslungen war.

***) Ingen-Housz: Versuche mit Pflanzen etc., deutsch von Scherer, Wien 1786. Vergl. namentlich p. 39.

noch mit grossem Genuss gelesen werden kann, um das Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts zugestanden werden, denn durch ihn wurden zum erstenmal die Bedingungen der beobachteten Erscheinung deutlich festgestellt. Derselbe hatte eine grosse Anzahl von Versuchen angestellt und kam zu dem Schlusse, dass die *grüne* Pflanze *nur im Sonnenlichte* „dephlogistisierte Luft“ (wie er den Sauerstoff noch nennt) aushaucht, in der Dunkelheit dagegen selbst bei grosser Wärme «ungesunde Luft» ausgiebt*) und dass die *nicht grüngefärbten Pflanzenteile* auch im Sonnenlichte keinen Sauerstoff liefern.

In diesen Sätzen lag offenbar schon im wesentlichen unsere jetzige Erkenntnis. Doch konnte man noch fragen, woher denn der Sauerstoff stamme, der von den grünen Pflanzen unter den angegebenen Bedingungen ausgeschieden wurde; und in der That bestanden hierüber anfangs unrichtige Meinungen, indem man annahm, dass die Pflanze ihren Kohlenstoffgehalt durch die Wurzeln assimiliere und nur den Wasserstoff durch Reduktion sich aneigne. Eine derartige Theorie wurde beispielsweise von Hassenfratz ausgesprochen**). Jene Frage beantwortete erst wenige Jahre später Senebier, welcher durch Versuche zeigte, dass *die Anwesenheit von Kohlensäure eine unerlässliche Bedingung****) sei, damit von der grünen Pflanze im Sonnenlichte Sauerstoff ausgegeben werde. Damit erwies sich also der ausgehauchte Sauerstoff als ein Zersetzungsprodukt der Kohlensäure und die von Bonnet beobachtete Unwirksamkeit des ausgekochten Wassers hatte ihre Erklärung gefunden.

Jetzt erst wusste man, auf Kosten von welcher Sauerstoffverbindung der Reduktionsprozess vor sich ging, und konnte den Schluss machen, dass gleichzeitig mit jener Sauerstoffabscheidung in der grünen Pflanze neue organische Substanz gebildet werden müsse. Den experimentellen Nachweis der Richtigkeit dieses Schlusses hat indessen erst de Saussure†) an der Grenzscheide unseres Jahrhunderts geliefert, indem er neben vielen anderen Dingen, die zu unserm Gegenstand in keiner direkten Beziehung stehen, zeigte, dass gleichzeitig mit der Sauerstoffausscheidung die Pflanze an organischer Trockensubstanz zunimmt.

Es ist dann endlich hervorzuheben, dass erst Liebig die ganze Bedeutung der so festgestellten Weise der Kohlenstoffassimilation für das wirkliche Pflanzenleben und für die Pflanzenkultur völlig erkannt hat, oder dass man wenigstens bis zu

*) Dies letztere ist dann von Senebier heftig bestritten worden (vergl. Ingen-Housz: A. a. O p. LIV. f), und in der That scheinen in den Versuchen des I.-H. Fehler infolge von beginnender Fäulnis mituntergelaufen zu sein, so dass die in dieser Richtung aufgestellten Sätze damals noch als nicht ausreichend experimentell begründet angesehen werden konnten.

**) Annal. d. Chimie (5) T. 14, p. 55.

***) Vergl. Senebier: Expériences sur l'action de la lumière solaire. 1788, p. 416. — Freilich hatte schon lange vorher ein englischer Forscher, Mackbride 1764 erkannt, dass „fixe Luft“ in Berührung mit vegetierenden Pflanzen im Lichte verbraucht werde, allein unbekannt mit den Beziehungen der fixen Luft zum Sauerstoff, ohne jene andere Thatsache zu wissen; vgl. Krutzch: Bodenkunde 1847, p. 168. Immerhin steht die Mackbride'sche Entdeckung auf der Stufe der Priestley'schen und verdiente neben dieser genannt zu werden.

†) Recherches chimiques sur la végétation. 1804. Die Möglichkeit dieses Nachweises ist durch die neue Methode von Sachs, gemessene Blattabschnitte zu wägen (vgl. Arbeiten a. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. III, p. 1, 1884), ausserordentlich vervielfältigt.

seinem Auftreten, namentlich in der Landwirtschaftslehre, jenen Vorgang — so deutlich de Saussure auch schon in dieser Beziehung sich ausgesprochen hatte — als praktisch unbedeutend ansah und auf die direkte Ernährung der Gewächse durch die kohlenstoffhaltigen Bestandteile des Humus einen ganz und gar übertriebenen Wert legte*). Notwendig müssen aber neben Liebig in dieser Beziehung alle jene ausdauernden Experimentatoren genannt werden, welche durch den Kulturversuch die Möglichkeit der zureichenden Ernährung vieler Pflanzen bei Ausschluss von organischen Stoffen bewiesen und so den Liebig'schen Satz, der bis dahin auf einer ungenügenden Basis der Erkenntnis beruhte, bestätigten.

Das weitere Verständnis der schon so frühe gemachten Entdeckung in Bezug auf den Kräfteaustausch, welchen wir so ausführlich behandelt haben, gehört erst der neuesten Zeit an und ist, wie aus der Darstellung hervorgeht, im wesentlichen die Frucht unserer Erkenntnis der Unzerstörbarkeit der Kraft.

Unter den Bedingungen der Entstehung der organischen Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle haben wir mithin kennen gelernt: die Anwesenheit der Rohstoffe dieser Produktion, das Vorhandensein einer bestimmten Temperatur und endlich die Verfügung über eine Kraftquelle, *Lichtstrahlen,* unter gewöhnlichen Umständen das *Sonnenlicht.*

Wir haben schon in der letzten Vorlesung angedeutet, dass die Bezeichnung Licht oder Sonnenlicht noch unbestimmt ist. Licht stellt im allgemeinen ein Gemenge dar von Strahlen sehr verschiedener Brechbarkeit und ausserordentlich verschiedenen Wirkungen. Ein Teil eines solchen Strahlengemischs ist besonders befähigt, chemische Veränderungen zu bewirken; ein andrer Teil, die Glasflüssigkeit unseres Auges zu durchdringen und auf unsere Sehnerven den Eindruck der Lichtempfindung hervorzurufen; ein dritter Teil erleidet sehr leicht Absorption von gewissen Körpern und erwärmt dabei dieselben.

Allein die Wirkungsweise der einzelnen Strahlenarten kann nicht strenge voneinander unterschieden werden. Manche Strahlen sind gleichzeitig dieser verschiedenen Wirkungen fähig. Dieselben Strahlen, die auf unser Auge wirken, sind grossenteils befähigt, bei Berührung mit manchen Körpern Absorption zu erleiden und Wärmewirkungen zu veranlassen; und deshalb ist die Unterscheidung zwischen Licht- und Wärmestrahlen strenge nicht zulässig. In gleicher Weise sind aber auch Strahlen, für die unser Auge empfänglich ist, teilweise befähigt, chemische Veränderungen zu bewirken, und so ist es auch hier unmöglich, eine scharfe Grenzlinie zu ziehen.

So viel ist jedoch festzustellen und allgemein bekannt, dass die *brechbarsten Strahlen,* die auf unser Auge die Empfindung des Violetten oder überhaupt keine Empfindung mehr hervorrufen, die sogenannten violetten und ultravioletten Strahlen, besonders *chemische Wirkungen* zeigen, dass die Strahlen von *mittlerer Brechbar-*

*) Es erhellt dies namentlich aus dem Studium der Sprengel'schen und Hlubek'schen Schriften. In welchem Zusammenhang die im Grunde widersinnige Humustheorie mit der den physiologischen Wissenschaften von der Naturphilosophie wieder neu importierten Lehre von der Lebenskraft gestanden hat, hat J. Sachs in seiner Geschichte der Botanik (1875, p. 484) gezeigt.

keit am meisten *Lichtempfindung* auf unserer Netzhaut hervorzurufen vermögen, und dass wir daselbst die Strahlen verschiedener Brechbarkeit kraft des Farbensinnes unserer Gesichtsnerven verschieden empfinden und dass endlich die *wenigst brechbaren Strahlen* des sichtbaren Spektrums und die noch weniger brechbaren des unsichtbaren, die roten und die sogenannten ultraroten, es vorzugsweise sind, die auf gewisse Körper fallend *Absorption erleiden* und dieselben *erwärmen*.

So hat die Einteilung der Lichtstrahlen in *chemische Strahlen, leuchtende Strahlen* und *Wärmestrahlen* trotzdem, dass viele Strahlen *gleichzeitig* chemische und leuchtende Strahlen, viele andere gleichzeitig leuchtende und Wärmestrahlen sind und selbst die chemischen auch Wärmewirkungen veranlassen können, eine gewisse Berechtigung.

Für unseren Zweck ist dieses Verhalten der verschiedenen Lichtstrahlen vorwiegend deshalb interessant, weil wir uns schon aus praktischen Gründen unmöglich mit den durch unsere bisherigen Betrachtungen festgestellten Beziehungen zwischen Lichtstrahlen und der chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle begnügen können. Wir werden auch sehen, dass es allgemeinerer Gesichtspunkte wegen wichtig ist, die Frage aufzuwerfen, welche Strahlen sich bei der Produktionsarbeit beteiligen.

Lassen Sie uns auch hier wieder das bisher schon befolgte Verfahren einschlagen, zuerst zu sehen, inwiefern wir uns über die gestellte Frage durch Herleitung aus schon erkannten Gesetzmässigkeiten Aufschluss verschaffen können, um nachher die experimentelle Bestätigung für unsere Deduktion zu suchen.

Es ist zunächst bekannt, dass Lichtstrahlen auch ausserhalb der chlorophyllhaltigen Zelle chemische Arbeiten zu leisten vermögen, d. h. nach der von uns gegebenen Erläuterung, chemische Prozesse einzuleiten vermögen, bei denen ein Zuwachs von chemischer Spannkraft eintritt, während gleichzeitig Licht als solches verloren geht. Solche chemischen Arbeiten sind daher im allgemeinen*) nach der Redeweise der Chemie Zersetzungserscheinungen, weil bei der Umkehrung dieser Processe, bei den Verbindungserscheinungen Wärme aufzutreten pflegt, wie wir dies für einen speziellen Fall, für die Verbrennungen, schon kennen gelernt haben. Diesem Austritt von Wärme entspricht natürlich, wie wir in der letzten Vorlesung ausdrücklich hervorgehoben haben, Verlust an chemischer Spannkraft.

Daraus ging hervor, dass bei all den chemischen Reaktionen im gewöhnlichen Sinne des Worts, bei denen keine äussere Kraftquelle, also mechanische Bewegung, Licht, Temperaturdifferenz, elektrische Kräfte etc. zur Verfügung steht, auch keine Aufspeicherung von chemischen Spannkräften stattfinden kann, sondern dass sie Prozesse sind, die vom Standpunkt des Prinzips der Erhaltung der Kraft aus zu derselben Klasse gehören wie die Verbrennungserscheinungen und dass daher bei Vollziehung derselben keine chemische Arbeit geleistet wird. Wenn es nun nichtsdestoweniger auf rein chemischem Wege, d. h. ohne Hinzuziehung von von aussen stammenden Kräften möglich ist, Reduktionen vorzunehmen, so kann dies eben nur geschehen, indem die betreffende chemische Arbeit, wie schon früher beiläufig erwähnt, durch eine andere schon vorhandene chemische Spannkraft geleistet wird,

*) Auf einige Ausnahmen haben wir schon hingewiesen, vergl. p. 29.

die dabei in demselben Maasse verloren geht, so dass, wenn man den ganzen Prozess als zusammengehörig betrachtet, keine chemische Spannkraft gewonnen, keine chemische Arbeit geleistet ist.

Für den Oxydations- und Reduktionsprozess sind uns diese Anschauungen einigermaassen geläufig. Es ist uns bekanntlich leicht möglich, auf rein chemischem Wege beliebige Metallreduktionen vorzunehmen, aber nur, wenn wir einen anderen Stoff, gewöhnlich Kohle, der eine noch grössere Affinität zum Sauerstoff besitzt, gleichzeitig oxydieren. Hier wird die chemische Arbeit durch chemische Spannkraft geleistet, also, wenn man den Prozess im grossen und ganzen betrachtet, keine chemische Arbeit geleistet. Das ganze System von bei einer solchen Reaktion gegenwärtigen chemischen Verbindungen kann dabei nichts an chemischer Spannkraft gewinnen oder, wie man sich bei diesem Beispiel ausdrücken kann, keinen Zuwachs an Verbrennungswärme erleiden, sondern nur eine Abnahme.

Wenn dagegen äussere Kräfte, wie z. B. elektrische Kräfte, zur Verfügung stehen, dann gelingt es auch, solche Zersetzungen vorzunehmen (so dass eine Anhäufung von chemischen Spannkräften stattfindet unter gleichzeitigem Verbrauch von elektrischen Kräften), d. i. mit Hilfe dieser Kräfte chemische Arbeit zu leisten. Auf diese Weise ist es dann leicht möglich, Reduktion von Wasser oder Metalloxyden zu bewirken ohne gleichzeitige Oxydation eines andern Körpers. Man erinnere sich an die vielen Abscheidungen leicht oxydabler gediegener Metalle durch Elektrolyse.

Diese Scheidung der chemischen Reaktionen in zwei verschiedene Klassen, die vom Standpunkt der Verwandlung der Kräfte ineinander sich geradezu entgegengesetzt sind, ist für den Zweck, den wir gerade verfolgen, durchaus notwendig. Leider wird in der elementaren Chemie diesen Verhältnissen gewöhnlich zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Wir wissen nun, dass zur Vollziehung der einen Klasse jener Erscheinungen, die wir als chemische Arbeiten bezeichnet haben und die im allgemeinen mit den sogenannten chemischen Zersetzungsprozessen identisch sind, das Vorhandensein äusserer Arbeitskräfte nötig ist. Das Licht, das eine solche Arbeitskraft darstellt, vermag, wie gesagt, auch ausserhalb der chlorophyllhaltigen Zelle chemische Arbeiten zu verrichten. Das populärste Beispiel für die Verrichtung chemischer Arbeiten durch das Licht ist die Zersetzung gewisser Silbersalze — die bekannte photographische Wirkung des Lichts. Diese Wirkung zeigt das Licht, wie wir alle wissen, ohne jeden komplizierten Apparat. Ein Silbersalz, dem Lichte dargeboten, schwärzt sich, und bei dieser Schwärzung tritt eine Zerlegung ein, deren Natur freilich noch nicht ganz genau bekannt ist, die aber in jedem Falle einer Anhäufung von chemischen Spannkräften entspricht.

Wenn wir nun nachfragen, welche Strahlen es sind, die in diesem Falle die chemische Arbeit vollziehen, so erhalten wir die Antwort, dass nicht alle Strahlen des Strahlengemischs, welches wir weisses Licht nennen, in gleicher Weise diese Wirkung auszuüben vermögen, sondern dass ganz gewisse Strahlengattungen und zwar die *brechbarsten,* die *violetten* und *ultravioletten* ganz vorzugsweise zu der in Rede stehenden chemischen Arbeit der Zerlegung der Silbersalze befähigt sind. Diese Strahlen haben ja eben aus dem Grunde den Namen „chemische“ Strahlen erhalten.

Dazu kommt als weitere Veranlassung für diese Benennung, dass genau dieselben Strahlengattungen auch andere ähnliche chemische Wirkungen zeigten. Wir haben es zwar in der Verbindung von Chlorknallgas mit einer chemischen Erscheinung der andern Klasse zu thun, mit einer wirklichen Verbindungserscheinung unter Einbusse von chemischen Spannkräften und nicht mit einer chemischen Arbeit. Es ist dies selbst eine chemische Reaktion, bei der viel Wärme frei wird, eine Reaktion, die sich infolge des Freiwerdens von Wärme sogar bis zur Explosion steigern kann, wenn nämlich Gelegenheit gegeben ist, dass diese Wärme sich bis zur Entzündungstemperatur des Gasgemischs anhäuft — ein Verhalten, wie es selbstredend bei der andern Klasse von chemischen Erscheinungen niemals eintreffen kann. Die Rolle, die bei diesem Prozesse das Licht spielt, ist also eine etwas abweichende*). Auch hier leistet dasselbe eine Arbeit; aber nicht in der Vollziehung jener Reaktion steckt jene Arbeit, sondern das Licht spielt hier eine ähnliche Rolle wie die Wärme, die man einem verbrennlichen Körper zuführt, wenn man ihn auf die Entzündungstemperatur erhitzt. Das Chlor scheint durch die Belichtung in eine leichter der Verbindung mit Wasserstoff zugängliche Modifikation überzugehen, während gleichzeitig chemische Spannkräfte in demselben angehäuft werden, so dass es eine höhere Verbindungswärme besitzt als das unbelichtete Chlor**) und bei der stattfindenden Vereinigung ein Plus von Wärme auftritt, worin dann die vom Lichte geleistete Arbeit wieder zum Vorschein kommt.

Die Zeit, die uns zur Verfügung steht, und der Zweck dieser Vorlesungen gestatten uns nicht, näher auf dies interessante Verhalten einzugehen, aber so viel erschien mir zu erwähnen notwendig, um eine Konfusion des eben besprochenen Prozesses mit der Wirkung des Lichts auf Silbersalze zu vermeiden. Wir haben hier nur hervorzuheben, dass es dieselben leicht brechbaren Strahlen sind, die auch die etwas verkappte chemische Arbeit bei der Vereinigung von Chlor und Wasserstoff zu leisten berufen sind, während man durch leicht auszuführende Experimente zu zeigen im stande ist, dass die weniger brechbaren Strahlen, die grünen, gelben, roten und die dunkeln Wärmestrahlen zu dieser Leistung mehr und mehr unfähig sind.

Unter solchen Umständen hatte es natürlich den Anschein, als ob zu den verschiedenen chemischen Wirkungen, die das Licht auszuüben fähig war, stets dieselben Strahlengattungen notwendig wären. Man bildete sich die Anschauung, als ob ganz bestimmte Strahlen und nur diese die Fähigkeit besässen, chemische Veränderungen

*) Ähnlich muss jedenfalls auch die Rolle des Lichtes beim Bleichen und der Einleitung vieler anderer Verbindungsprozesse aufgefasst werden.

**) Vergl. Favre u. Silbermann (Jahresber. d. Chemie 1847—48, p. 221), nach deren Untersuchungen das reine Chlor durch Bestrahlung in eine an chemischer Spannkraft reichere Modifikation übergeführt wird. Dem ist freilich widersprochen worden; aber eine stattfindende Lockerung der Chloratome im Chlormolekül ist doch anzunehmen. Vgl. Draper: Berzelius, Jahresber. 24 p. 57, 25 p. 68, 26 p. 136; Bunsen u. Roscoe: Jahresber. d. Chemie 1857, p. 46; Buddé: J. f. pr. Ch. 1873, Bd. 7, p. 376. Auch das Verhalten der Halogene bei der Dampfdichtebestimmung nach Viktor Meyer kann als eine Bestätigung unserer Auffassung gelten.

zu bewirken, und dieser Anschauung entsprach natürlich der Ausdruck „chemische Strahlen".

Es waren zwar schon einzelne Thatsachen, die gegen eine ganz vollständige Koïnzidenz der bei den verschiedenen Prozessen wirksamen Strahlengattungen sprachen, in früher Zeit bekannt. So wusste man, dass die Zersetzung des Bromsilbers schon von den Strahlen, die der Fraunhofer'schen Linie F zunächst liegen, eingeleitet wird, während die gleiche Wirkung auf Jodsilber erst von den brechbareren Strahlen bei G anfängt hervorgebracht zu werden; und ganz ähnliche Beobachtungen wurden später in der Photographie benutzt, um hell und dunkel in stark gefärbten Ölgemälden mit grösserer Naturtreue wiederzugeben, als durch das gewöhnliche Verfahren möglich war*). Doch schienen diese Abweichungen anfangs zu geringfügiger Natur zu sein, um eine Erschütterung jenes Erfahrungssatzes veranlassen zu können, und erst später hat Draper eine grössere Reihe von Thatsachen beigebracht, aus denen hervorging, dass sämtliche Lichtstrahlen sich an verschiedenartigen chemischen Prozessen gar nicht in so ungleichem Maasse beteiligen**), als eine vorschnelle Verallgemeinerung uns hatte glauben machen wollen.

Kurz, als man die Thätigkeit des Lichts bei der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle erkannt hatte und sich nun die Frage stellte, die wir uns vorhin gestellt haben, welche Strahlen es wohl sein möchten, welche die chemische Arbeit in diesem Fall leisteten, da war man geneigt, die Antwort zu geben, dass es in diesem speziellen Falle, wie in den bekannten andern, auch wohl die chemischen Strahlen sein müssten, denen jene Wirkung zugeschrieben werden könne.

Dazu kamen noch einige weitere Umstände, die jenen Schluss zu bestätigen schienen. Helmholtz***) hatte seiner Zeit angedeutet, es könne die Thatsache — die sich aus den sehr dunkel ausfallenden Photographieen pflanzenreicher Landschaften ergab —, dass die chemischen Strahlen von den grünen Blättern unserer lebenden Gewächse nicht zurückgeworfen werden, durch die Verwendung jener Strahlen zu chemischen Arbeiten innerhalb der Pflanze erklärt werden. Die Erscheinung, auf die Helmholtz aufmerksam machte und so zu deuten geneigt war, ist in der That jedem, der Photographieen von Landschaften aufmerksam betrachtet hat, auffallend genug. Der Wald, die Blätter der Bäume sind auf solchen Bildern im Gegensatze zu vielen hellen Gegenständen, Gebäuden, Wegen so ausnehmend dunkel, dass durch dieses Verhalten die landschaftliche Schönheit der Gegend, welche die Photographie kopiert, wesentlich gestört wird, da diese Schönheit eben teilweise auf einer in der Wirklichkeit ganz anders abgestuften Nüanzierung von lichten und dunkeln Farbentönen beruht. Diese so leicht zu konstatierende auffallende Erscheinung zeigt deutlich, dass die „chemischen" Strahlen (die bei der Photographie ja lediglich zur Wirksamksit gelangen) von den lebenden grünen Organen nicht oder wenig zurückgeworfen werden.

*) Vergl. Schultz-Sellack: Ber. d. deutschen chem. Gesellsch., 27. Februar 1871, und ebenda 1873, p. 44.

**) Philosoph. Magaz., Dez. 1872.

***) Wechselwirkung der Naturkräfte 1854, p. 37.

Aber nicht genug, Roscoe hat gelehrt, indem er frische grüne Blätter auf photographisches Papier legte und dieses so der Lichtwirkung aussetzte, dass auch keine chemischen Strahlen durch lebende grüne Blätter *hindurchgehen*. Jedermann kann sich durch die einfachste Versuchsanstellung von der Welt von der Korrektheit dieser Angabe überzeugen. Man setze solche Blätter auf empfindlichem photographischem Papiere stundenlang dem Sonnenlichte aus und man wird finden, dass selbst bei dünnen Blättern, z. B. denen der Linde, die Stellen, wo die Blätter lagen, weiss oder fast weiss geblieben sind, während ringsum vollkommene Schwärzung selbst bei den nur Bruchteile von Stunden ausgesetzten Papieren eingetreten ist.

Um so wahrscheinlicher musste natürlich unter solchen Umständen, da nun nachgewiesen war, dass die grünen Blätter, in denen sich eine chemische Arbeit vollzieht, weder „chemische“ Strahlen durch sich hindurchlassen, noch auch dieselben reflektieren, die Anschauung erscheinen, nach welcher diese „chemischen“ Strahlen geradeso wie bei der Wirkung auf Silbersalze in den Blättern jene chemische Arbeit verrichteten.

Als man nun aber für das Resultat dieser Herleitung experimentelle Belege suchte, als man den Prozess der Produktion von organischer Substanz bei Ausschluss gewisser Strahlengattungen sich vollziehen liess, da fand man übereinstimmend miteinander, dass derselbe von der Anwesenheit der *„chemischen“ Strahlen völlig unabhängig* sei, dass (im Widerspruch mit der Anschauung, die man zu bilden sich für berechtigt gehalten hatte) die *„chemischen“ Strahlen überhaupt in wenig erheblichem Maasse die Fähigkeit besässen, die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser zu vollziehen.*

An diesen Versuchen haben sich so viele Forscher fast aller europäischen Nationen beteiligt, und von allen diesen wurden in dieser allgemeinen Richtung so übereinstimmende Resultate erlangt, dazu sind die betreffenden Experimente verhältnismässig so leicht anzustellen, dass an der Richtigkeit des so gewonnenen Resultates nicht im mindesten gezweifelt werden darf.

Dieses Beispiel — und darauf möchte ich mit wenigen Worten aufmerksam machen — eines unvermuteten experimentellen Resultates ist sehr lehrreich für die relative Sicherheit der Schlüsse der induktiven, überall auf der Erfahrung fussenden, Wissenschaften. Hätten wir es mit einer Disziplin zu thun gehabt, die sich entweder wie in der sogenannten scholastischen Periode der Wissenschaften aus hochmütiger Bequemlichkeit oder, wie es bei manchen auch heute nicht anders sein kann, wegen Unzugänglichkeit der direkten Erfahrung durch Beobachtung und Experiment, zur Beantwortung der eben behandelten Frage der rein deduktiven Methode des Schliessens vom allgemeinen aufs besondere hingegeben hätte, so wäre der endgültige Schluss trotz der scheinbaren Richtigkeit des Satzes, auf welche die Folgerung gegründet werden musste, dennoch ein völlig falscher gewesen. Hieraus geht ohne weiteres der hohe Wert der Möglichkeit einer steten Kontrolle unserer Schlussfolgerungen durch das Experiment hervor. Dieses dient als Wegweiser, ohne den man auch mit der schärfsten Logik, wegen der Unsicherheit der zu Grunde gelegten Vordersätze, beinahe unfehlbar früher oder später, vom richtigen Wege abirrt, wie die Geschichte unserer rein metaphysischen Herleitungen zur Genüge beweist.

Die experimentellen Methoden, mit denen jenes Resultat zu Tage gefördert wurde, können hier nur flüchtig skizziert werden. Zur Abschliessung einzelner Strahlengattungen wurden bunte Gläser und gefärbte Lösungen verwandt, die zwischen die Lichtquelle und die Pflanze, in deren chlorophyllhaltigen Zellen sich die chemische Arbeit vollziehen sollte, eingeschaltet wurden. Dasselbe Licht, welches zur Pflanze gelangen konnte, wurde häufig gleichzeitig auf seine Fähigkeit, Silberpräparate zu schwärzen, also auf seinen Gehalt an „chemischen“ Strahlen untersucht und so die Nichtkoïnzidenz der verschiedenen chemischen Arbeiten in Bezug auf die Strahlen, durch die sie verrichtet werden, nachgewiesen.

Mehr Empfehlung verdient noch der Gebrauch des Prismas zur Abscheidung der einzelnen Strahlenarten. Allein im Anfang legte die geringe Intensität des so erhaltenen Lichts der erfolgreichen Anwendung dieser Methode Schwierigkeiten in den Weg. Einer der Experimentatoren, v. Wolkoff*), arbeitete ohne Einschaltung eines gefärbten Mediums und bewies einfach, dass unter gewissen Umständen, im Freien, die chemische Arbeit in der Pflanze durch längere Zeiträume hindurch äusserst gleichförmig verläuft, während das atmosphärische Licht sehr ungleichförmig auf die Zerlegung der Silbersalze wirkte, also auf fortwährende Veränderungen der „chemischen“ Intensität dieses Lichts geschlossen werden musste. Dieser Nachweis führt selbstredend zu der gleichen Schlussfolgerung.

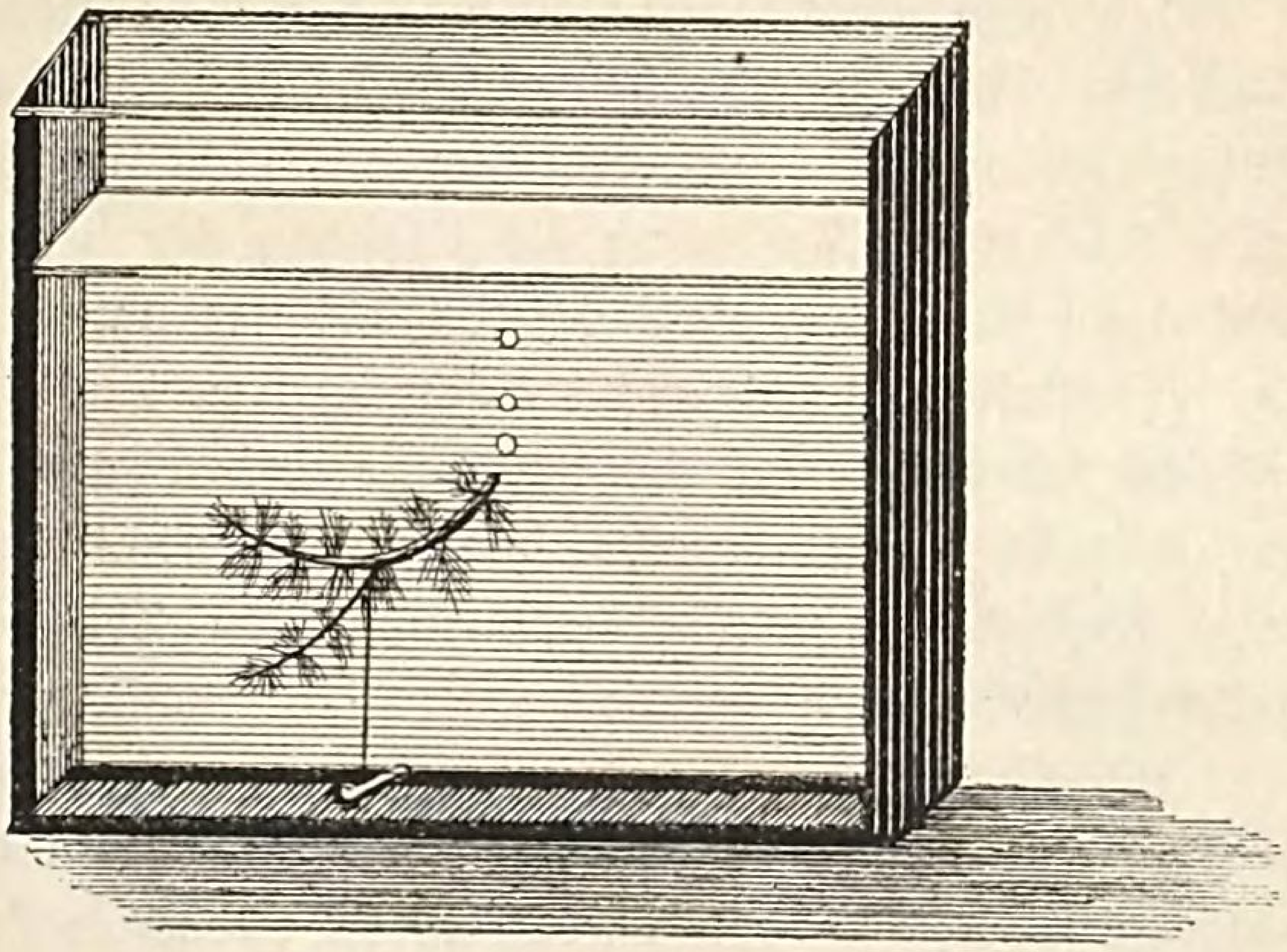
Als Symptom der chemischen Arbeit in der Pflanze wurde bis zur allerneuesten Zeit die Sauerstoffabscheidung beobachtet und auf verschiedene Weise gemessen. Soweit Luftpflanzen Anwendung finden, wird am besten die die grünen Pflanzenteile umgebende Luft vor und nach der Bestrahlung analysiert und so der Sauerstoffgehalt der ausgeschiedenen Gase bestimmt. Für untergetauchte Wasserpflanzen brachte Sachs eine Methode der Sauerstoffmessung in Anwendung, die sich als äusserst bequem erwies und sich unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln auch für wissenschaftliche Zwecke als brauchbar gezeigt hat.

Ich habe dort ans Fenster, wo die Lichtintensität genügend ist, um Sauerstoffabscheidung zu bewirken, ein Glasgefäss mit kohlensäurehaltigem Wasser aufgestellt, in dem sich ein Zweig einer bekannten grünen Wasserpflanze, Ceratophyllum demersum, so aufgehängt befindet, dass derselbe ganz in das Wasser eintaucht und das Schnittende nicht weit von der Oberfläche des Wassers entfernt ist. Schon seit dem Beginn der Vorlesung steigt ein kontinuierlicher Strom von kleinen Blasen aus diesem Schnittende auf. Es ist dies genau dieselbe Erscheinung, die wir in der letzten Vorlesung an Luftpflanzen, die unter Wasser getaucht waren, beobachtet haben; nur dass diese Sauerstoffabscheidung bei Wasserpflanzen, die in der Regel keine Spaltöffnungen besitzen und die daher das bei der Produktion von organischer Substanz sich bildende Sauerstoffgas in die innern luftführenden Gefässe entlassen, aus welchen dasselbe an der Schnittfläche des Stengels in einem Blasenstrom entweicht, in so viel regelmässigerer Weise von statten geht. Dass wir es in der That hier mit der gleichen Erscheinung, die wir früher bei Luftpflanzen beobachteten, mit einem Symptom der Produktion von organischer Substanz zu thun haben, können

*) A. a. O. Pringsheim: Jahrbücher V, p. 7.

wir sogleich beweisen, indem wir zeigen, dass dieselbe an das Vorhandensein einer intensiven Lichtquelle geknüpft ist.

Ich stelle das Glas, in welchem sich der Zweig von Ceratophyllum demersum befindet, dort in den dunkelsten Raum des Auditoriums. Der Blasenstrom wird langsamer, und jetzt ist derselbe erloschen. — Ebenso liesse sich leicht der Sauerstoffreichtum des entweichenden Gases zeigen, wenn wir uns die Mühe nehmen wollten, dasselbe zu sammeln.


Fig. 3.

Ich setze jetzt das Glas ans Fenster zurück und dort im intensiveren Lichte beginnt sogleich wieder die Thätigkeit mit der alten Stärke. Eine Blase reiht sich an die andere; und sie bilden so eine kleine Perlenschnur, die das Schnittende der Pflanze mit der Oberfläche der Flüssigkeit verbindet.

Wenn wir diesen Vorgang mit dem früher an Luftpflanzen beobachteten analogen Prozess vergleichen, so fällt uns sogleich die grosse Regelmässigkeit auf, mit welcher derselbe von statten geht. Dort lösen sich kleinere und grössere Gasblasen in unregelmässigen Zeitintervallen von den grünen Blättern los. Um einen Einblick in die Intensität des Vorgangs zu erlangen, mussten die Gasmassen in kalibrierten Röhren gemessen werden, und hierzu sind natürlich, will man auch nur einen geringen Grad von Exaktheit erreichen, grössere Mengen erforderlich.

Bei den Wasserpflanzen dagegen macht sich die Beobachtung der Intensität des Vorgangs ganz von selbst. Es ist möglich, die einzelnen entweichenden Blasen zu zählen und so auch in sehr kleinen Zeiten alle Veränderungen in der Geschwindigkeit der Gasabscheidung zu bemerken. Zuweilen entweichen allerdings die Blasen sehr rasch. Allein man stellt so lange neue Schnittflächen her, bis man die gewünschte Schnelligkeit durch Probieren gefunden hat. Ich kann sogar auf diese Weise die Abhängigkeit dieses Prozesses von den verschiedenen Lichtarten in wenigen Augenblicken demonstrieren — ein Unternehmen, welches mit Luftpflanzen ein vergebliches bleiben müsste.

Ich stülpe diesen Kasten, aus gelbem Glase gefertigt, über das Gefäss mit der Wasserpflanze. Die Intensität des Blasenstromes vermindert sich augenblicklich, aber die Anzahl der in einer gewissen Zeit entweichenden Blasen mag doch noch wohl halb so gross sein wie vorher. Ich entferne den Kasten wieder; — die frühere Intensität stellt sich sofort wieder ein.

Nun stülpe ich diesen Kasten aus blauem Glase über das Gefäss und man beobachtet, dass die Gasentbindung aus dem Stengelschnitt sofort ganz unbedeutend wird oder ganz aufhört*).

*) Diese Versuche eignen sich nur zur Demonstration in Vorlesungen, wenn man die dem Zimmer zugewendete Seite der übergestülpten Glaskästen offen lässt oder einfach eine

Auf diese Weise erfährt man schon durch einen sehr rohen Versuch, dass die weniger brechbaren gelben Strahlen auf Sauerstoffausscheidung aus der chlorophyllführenden Pflanze zu wirken vermögen, während die brechbarsten blauen und violetten Strahlen viel weniger zu dieser Arbeit geeignet sind.

Ich lege aber nun unter jene beiden Kästen diese Stücke photographisch präparierten Papiers, die bisher im Dunkeln aufbewahrt wurden und in denen die Silbersalze noch in unzersetztem Zustande vorhanden sind. Wir werden alsdann nach Schluss der Vorlesung die Färbung der beiden Papiere miteinander vergleichen und dann bemerken, dass das Papier, das nur blaue und violette Strahlen empfing, tief gebräunt ist, während an dem andern kaum eine Veränderung wird konstatiert werden können. Auf diesem Wege haben wir dann gezeigt, dass, wie wir dies vorhin schon ausgesprochen haben, die chemische Arbeit bei Zerlegung der Silbersalze und die in der chlorophyllhaltigen Zelle von sehr verschiedenen Strahlengattungen vollzogen werden.

Dieselbe Methode nun, deren wir uns eben zur Nachweisung dieses Sachverhalts bedient haben, hat vielfach als Mittel, die Intensität der chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle zu bestimmen (wobei natürlich die Gasblasen gezählt wurden), Anwendung gefunden, obwohl dies vielleicht schon deshalb nicht streng zulässig erscheint, als nachgewiesenermaassen das entweichende Gas sehr verschieden reich ist an Sauerstoff. Dasselbe ist in seiner Zusammensetzung abhängig von dem Gasgehalt des umgebenden Wassers, durch das die Blasen zu streichen gezwungen sind. Immerhin wird aber — und dies muss trotz aller Einwendungen zu Gunsten der Methode hervorgehoben werden — nur durch die Entbindung von Sauerstoff ein Impuls zum Entweichen von Blasen gegeben, da die Pflanze kein anderes schwerlösliches Gas dauernd und in erheblicher Menge ausgiebt. Die Methode gewährt jedenfalls das, was als Kriterium einer guten Methode gilt, dass man bei Rückkehr zu annähernd denselben Versuchsbedingungen, und nach Einschaltung beliebig gewählter Zwischenperioden, auch wieder annähernd die ursprüngliche Erscheinung erhält.

Neben den Methoden, die sich auf Beobachtung der Sauerstoffabscheidung basieren, sind dann die Methoden zu unterscheiden, die auf die Beobachtung des Zuwachses an organischer Substanz gegründet sind. Hier ist der Ort, wo hervorgehoben zu werden verdient, dass Sauerstoffabscheidung und Bildung von organischer Substanz nicht notwendig völlig gleichwertige Symptome sind. Auf diesen Gegenstand müssen wir mit einigen Worten eingehen.

Wir haben uns im allgemeinen früher so ausgedrückt, als müsse die chemische Arbeit, die bei der Produktion von organischer Substanz geleistet wird, lediglich in der hierzu notwendigen Loslösung von Sauerstoff bestehen. Dies ist jedoch streng genommen nicht ganz richtig. Nicht jede chemische Arbeit muss notwendigerweise äusserlich in der erfolgten Trennung zweier verbundenen Körper erkennbar sein. Es können in irgend einem Stoff oder in irgend einem Gemisch von Stoffen chemische

gefärbte Platte zwischen Sonne und Pflanze hält, — eine Vorrichtung, die das Gelingen der Versuche nicht beeinträchtigt, da das zerstreute Tageslicht, das dann ausserdem noch wirken kann, verhältnismässig nicht in Betracht kommt.

Spannkräfte angesammelt werden und solche wiederum verloren gehen, ohne dass eine eigentliche chemische Zersetzung resp. Verbindung beobachtet werden kann. Wir machen in solchen Fällen die Annahme einer Umlagerung, die im einen Fall einer Lockerung, im anderen Fall einer Näherung der einzelnen Atome entspricht. Ich erinnere hier nur an die molekularen Modifikationen einfacher Körper, bei deren Entstehung Wärme frei wird, also chemische Spannkraft verloren geht. Dies geschieht beispielsweise, wenn Schwefel aus der einen Modifikation in die andere sich verwandelt.

Mit der Berücksichtigung dieser Eventualitäten müssen wir uns sagen, dass die Sauerstoffabscheidung zwar ein sicheres Kennzeichen für eine geleistete Arbeit ist, dass aber theoretisch auch Arbeit geleistet werden kann ohne dies sichtbare Aussenzeichen, dass sogar nichts einer Annahme im Wege steht, nach welcher zur kontinuierlichen Erzeugung von beliebigen organischen Stoffen aus Kohlensäure und Wasser andere chemische Arbeiten als die, welche mit Sauerstoffabscheidung endigen, unumgänglich notwendig sind.

Die unleugbare Möglichkeit eines solchen Verhaltens macht die Untersuchung der Bedingungen der Produktion von organischer Substanz neben der der Sauerstoffabscheidung wenigstens einmal in einem grundlegenden Versuche erwünscht*).

Das Resultat von dahin gerichteten Versuchen, über deren Details ich mich auf die Angabe beschränken kann, dass junge Pflanzen von bekanntem Samengewicht in verschiedenen Lichtgattungen ihr Wachstum vollendeten, ist gewesen, dass es in mehreren Fällen gelang, durch vergleichende Wägung des Samengewichts und der bei Ausschluss der „chemischen“ Strahlen erwachsenen Pflanzen die *dauernde Möglichkeit der Produktion von organischer Substanz* unter diesen Bedingungen *zu erweisen* und selbst die Proportionalität dieser Produktion mit der zur Verwendung gelangenden auf Sauerstoffabscheidung wirkenden Menge von Licht wahrscheinlich zu machen.

Es ist somit als erwiesen anzusehen, *dass die chemischen Strahlen nicht bloss für die Sauerstoffabscheidung, sondern auch für den ganzen Prozess der Entstehung von organischer Substanz,* der nicht notwendig in allen seinen Unterteilen mit jenem Vorgang identisch sein muss, *völlig entbehrlich sind,* wenn der Erweis auch keineswegs hinreichend ist, um jene als auch nur für diese Produktion unnütz hinzustellen. Wir werden vielmehr bald das Entgegengesetzte bewahrheitet sehen.

Als einer höchst originellen, auf den ersten Anblick abenteuerlichen, aber in geschickten Händen doch leistungsfähigen Methode, den Produktionsprozess in seiner Abhängigkeit von verschiedenen Lichtarten zu verfolgen, muss zuletzt auch noch die sogenannte Bakterienmethode von Th. W. Engelmann erwähnt werden**). Dieselbe

*) Dieses waren ungefähr die Gesichtspunkte, von denen geleitet der Verfasser in seiner Erstlingsarbeit es unternahm, die Abhängigkeit der *Produktion von organischer Substanz* durch die chlorophyllhaltigen Pflanzen von den einzelnen Strahlengattungen zu ermitteln, nachdem die Abhängigkeit der Sauerstoffabscheidung von denselben bereits festgestellt war. Vergl. Landw. Versuchsst. 9, p. 396, u. 12, p. 207.

**) Botan. Zeitung 1882, Nr. 26. Derselbe Forscher hat auch später und in sinnreicher Weise das Entstehen von Oxyhämoglobin aus Hämoglobin unter dem Einflusse der Sauerstoff-

beruht auf der lebhaften Bewegung gewisser Fäulnisbakterien in Gegenwart von freiem Sauerstoff. Wird eine chlorophyllhaltige Zelle zwischen diese Bakterien auf den wohlbedeckten Objektträger eines Mikroskopes gebracht und nun dem Lichte ausgesetzt, so scheidet die Zelle auf Kosten der von den Bakterien gelieferten Kohlensäure Sauerstoff aus. Mit Hilfe eines Mikrospektralapparates kann man nun natürlich leicht verschiedene Lichtarten prüfen, und die Lebhaftigkeit der Bakterienbewegungen giebt selbst einen quantitativen Maassstab für deren Befähigung zur Produktionsarbeit.

Wir sind nunmehr in unseren Studien über den in Rede stehenden Gegenstand so weit gelangt, um uns ein annäherndes Bild zu verschaffen von der relativen Be-

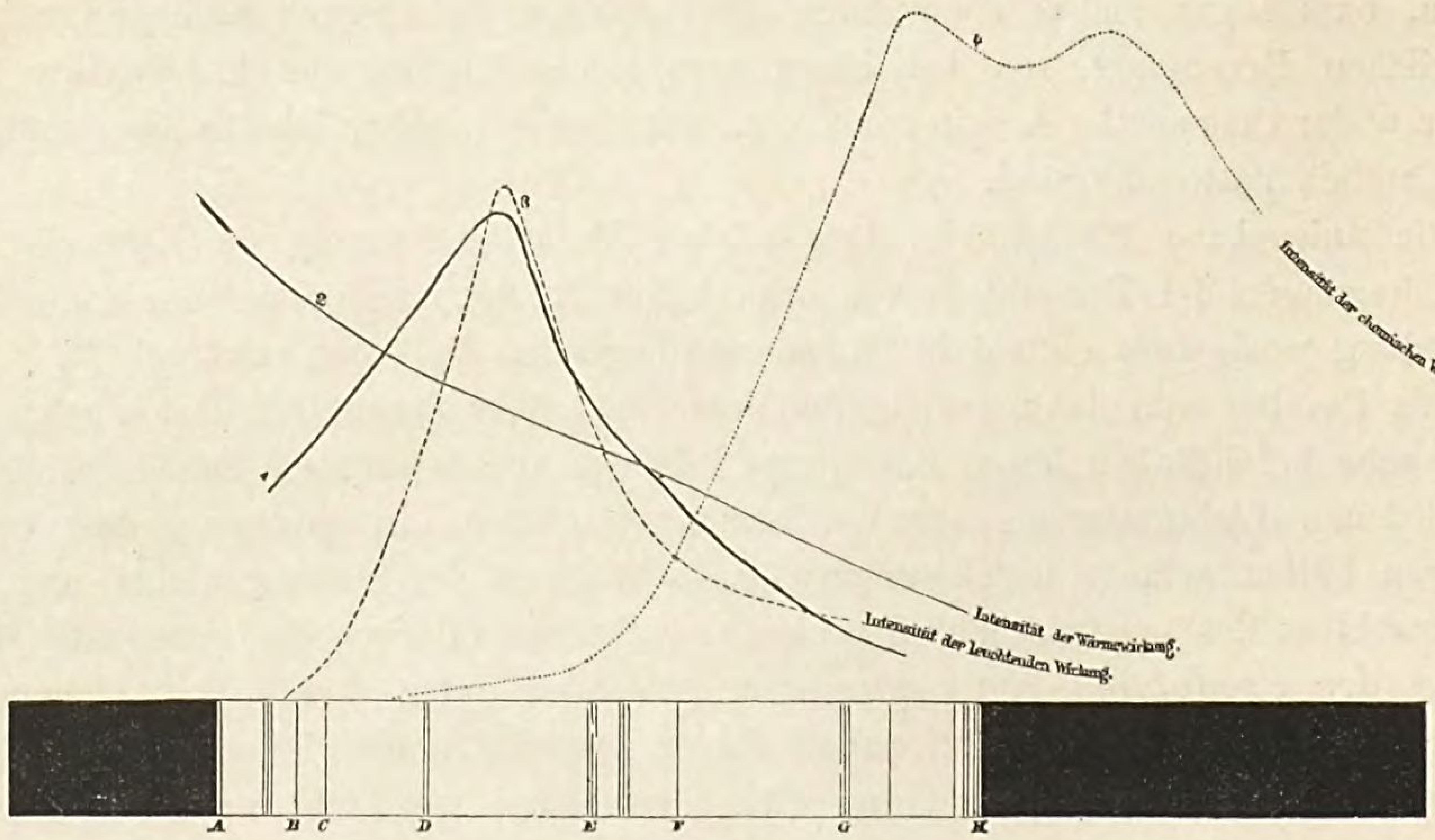


Fig. 4. — Kurve 1: Intensität der Wirkung der einzelnen Strahlengattungen auf Sauerstoffabscheidung aus chlorophyllhaltigen Pflanzenteilen nach Versuchen von Pfeffer. Die Kurven 2, 3 sind der Darstellung Timirjaseff's (bot. Zeitung, Jahrgang 27, Tafel III), die Kurve 4 einer von Bunsen entworfenen Zeichnung entnommen. Sämtliche Kurven sind abgerundet.

fähigung der einzelnen Strahlengattungen, Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu veranlassen. Durch die Kurven in Fig. 4, deren Ordinaten selbstredend keine der Intensität nach unter einander vergleichbare Werte haben, ist diese relative Befähigung, im Vergleiche mit der Befähigung derselben Strahlengattungen, Wärmewirkung, sodann für unser Auge wirksames Licht und endlich chemische Wirkung auf Silbersalze und Chlorknallgas hervorzubringen, graphisch ausgedrückt, und wir sehen namentlich aus dieser Zusammenstellung, dass die Wirkung in der chlorophyllhaltigen Zelle auch nicht genau mit der leuchtenden Wirkung des Lichts zusammenfällt*), obgleich man dies häufig der Bequemlichkeit wegen so ausdrückt.

abscheidung aus grünen Pflanzenteilen als Reagens benutzt und auch mit diesem Mittel die gleiche Frage untersucht. Vergl. Arch. f. d. ges. Physik, 42, p. 186.

*) Prillieux hat dies freilich geradezu behauptet, jedoch auf Versuche gestützt, welche die Abweichungen deutlich genug zeigen (vgl. Compt. rend. T. 69, p. 204); vergl. auch dessen

Es sind bei dieser Aufzeichnung nur die sehr ausgedehnten Versuche Pfeffers*) benutzt worden, obgleich in Bezug auf den feineren Verlauf der Kurve noch Meinungsverschiedenheiten herrschen und namentlich in neuerer Zeit die theoretisch ja so plausible Ansicht, dass die Wirksamkeit des Lichts mit dessen Absorption im Chlorophyll oder dessen stellvertretendem Farbstoffe sehr viele experimentelle Stützen erhalten hat**). Doch können wir für unsern Zweck diese in der Wissenschaft noch bestehende Kontroverse auf sich beruhen lassen.

Die einschlagenden Untersuchungen haben uns jedenfalls zu dem überraschenden Resultate geführt, dass gerade die weitaus bedeutendsten chemischen Arbeiten auf unserer Erdoberfläche, die in so überwältigend grossartigem Maassstabe in der grünen Pflanzenwelt vollzogen werden, wenigstens nicht in erster Linie von denjenigen Strahlen ausgehen, die man früher als ausschliesslich zu chemischen Wirkungen befähigt angesehen und deshalb mit dem Namen „chemische Strahlen" belegt hatte. Es ist daher festzuhalten, dass dieser Name heute nur noch eine relative Bedeutung hat, dass es in Wahrheit nicht, wie man früher glaubte, eine Klasse von Strahlen giebt, denen katexochen eine solche Wirkung zukommt.

Allein nun wirft sich uns von neuem und weit dringlicher die Frage auf, was denn aus den sogenannten „chemischen" Strahlen wird, die ja doch nach den leicht anzustellenden Beobachtungen von Helmholtz und Roscoe in den grünen Blättern zurückgehalten werden, wenn sie daselbst höchstens in zurücktretender Weise zur Leistung von chemischer Arbeit verwendet werden. Dieser Sachverhalt war es ja hauptsächlich, der zur Abgabe eines vorschnellen Urteils, das nachher durch die Versuche nicht bestätigt wurde, verleitete.

Wir werden der Lösung dieser durch das Vorhergehende noch nicht erledigten Frage näher geführt, wenn wir das Verhalten des toten Blattes hinsichtlich seiner Fähigkeit, „chemische" Strahlen zurückzuhalten, prüfen. Wenn man nach der vorhin beschriebenen Roscoe'schen Methode vergleichungsweise von möglichst ähnlichen Blättern, die aber teilweise durch Eintauchen in kochendes Wasser getötet sind, photographische Abdrücke macht, so ist zwischen denen der lebenden und denen der toten Blätter kein erheblicher Unterschied zu bemerken: diese verhalten sich also hinsichtlich der Durchlässigkeit für chemische Strahlen beinahe gleich, obgleich, wie

spätere Abhandlung ebenda T. 70, p. 521, und die entgegengesetzten Resultate Déhérains ebenda T. 69, p. 929.

*) Botan. Zeit. 1872, Nr. 23, und Landw. Versuchsst. Bd. 15, p. 356.

**) Vergl. N. J. C. Müller: Botan. Unters. Heidelb. 1872, I. Timirjaseff: Compt. rend. 1877, 28. Mai. Beyerinck: Botan. Zeitung, 1890, Nr. 45—48, und vor allem Th. W. Engelmann a. a. O. und Physiol. Labor. Utrecht III, XI. 1889, wo bei Purpurbakterien auch eine Wirkung im Ultrarot konstatiert und allgemein die Abhängigkeit der wirksamen Strahlengattungen von den in jedem einzelnen Falle mitwirkenden Farbstoffen gezeigt wird und sehr wichtige theoretische Folgerungen gezogen werden. Auch im Ultraviolett scheint noch eine kleine Wirkung zu bestehen. Vergl. auch Ber. d. Chem. Gesellsch. 1886. R. 107. Das noch im Texte adoptierte Pfeffer'sche Resultat beruht vermutlich z. T. auf der Nichtbeachtung der Zerstreuung des Lichtes im Refraktionsspektrum. Berechnet man die Lamansky'schen Resultate der Wärmewirkung auf das Refraktionsspektrum, so ist auch die Abweichung zwischen Wärmewirkung und Helligkeit des Lichtes sehr gering. Vergl. Pogg. Ann. 1875, Jan.

wir wissen, in den toten Blättern keine Produktion von organischer Substanz mehr stattfindet, keine chemische Arbeit geleistet wird. Ein Vorgang, der allein im lebenden Blatt vor sich gehen kann, ist es also unmöglich, durch welchen ihrer grössten Masse nach die „chemischen“ Strahlen bei ihrem Durchgang vernichtet werden. Auch der Anblick solcher photographischen Abdrücke bestätigt bei uns also den Schluss, zu dem wir vorhin auf einem ganz anderen Wege gelangt sind, dass das Verschwinden der „chemischen“ Strahlen in den grünen chlorophyllführenden Organen nichts mit dem Leisten einer „chemischen“ Arbeit in diesen Organen zu thun hat.

Wir werden uns einfach nach einer andern Ursache dieses Verschwindens von „chemischen“ Strahlen umzusehen haben, und in der That wissen wir, dass irgend eine Lichtart beim Durchgang durch irgend ein Medium ausser durch Absorption auf die Art, die wir bisher berücksichtigt haben, d. h. durch Verwendung der Strahlen zur chemischen Arbeit noch dadurch verschwinden kann, dass 1) der absorbierende Körper durch die Strahlen erwärmt wird, oder dass 2) die Absorption so stattfindet, dass die Orte dieser gleichzeitig selbst leuchtend werden, wobei die Wellenlänge der Lichtart abgeändert, diese letztere in eine andere von vorwiegend geringerer Brechbarkeit verwandelt wird. Wir nennen eine solche Erscheinung, die durch Körper der allerverschiedensten Art bewirkt wird, *Fluoreszenz*. Medien, die diese Eigenschaft besitzen, können z. B. auch die sehr brechbaren „chemischen“ Strahlen in weniger brechbare, die keine Wirkung auf Silbersalze mehr ausüben, umwandeln.

Nun kann in der That leicht nachgewiesen werden, dass das Chlorophyll schon in der lebenden Zelle, stärker allerdings als Extrakt, wie er durch Zerreiben grüner Blätter mit Alkohol erhalten werden kann*) (wobei die Chlorophyllkörner ihren Farbstoff an dieses Lösungsmittel abgeben), fluoreszierende Eigenschaften hat. Besonders die sogenannten chemischen Strahlen sind, als stark brechbar, auch an dieser Fluoreszenzwirkung beteiligt. Man kann dieses Verhalten schon ohne weitere Vorrichtung aus der in gewisser Beleuchtung und auf dunklem Grunde intensiv roten Färbung einer auf solche Weise dargestellten Lösung erkennen.

So erklärt sich denn die vorhin noch so befremdend klingende Thatsache, dass die chlorophyllhaltigen Organe der Pflanze undurchlässig für „chemische“ Strahlen sind und auch keine solche reflektieren, ohne dass das Verschwinden dieser Strahlen ausschliesslich in Zusammenhang gebracht werden müsste mit der chemischen Arbeit, die in der chlorophyllhaltigen Zelle geleistet wird, einfach so, dass diese Strahlen, soweit sie nicht auf gewöhnliche Weise unter Wärmewirkung absorbiert werden, durch Fluoreszenz in Strahlen von anderer Wellenlänge, von geringerer Brechbarkeit verwandelt werden.

Übrigens muss man sich hüten, nicht aus dem alten Irrtum über die Bedeutung der chemischen Strahlen für die Assimilation in den entgegengesetzten Fehler, sie

*) Es wurde zwar auf Grund zweier Arbeiten von Hagenbach (Poggend. Annal. 1870, Bd. 141, p. 256) und von Lommel (ebenda p. 582) die Fluoreszenz des lebenden Chlorophylls bestritten. Indessen habe ich das derivierte Spektrum unter diesen Umständen bei N. J. C. Müller selber gesehen. Vergl. auch dessen Abhandlung Pringsh. Jahrbücher 1873, p. 42, und Gerland und Rauwenhoff: Arch. Neerland. T. 6, p. 1871.

ganz und gar von der Mitwirkung daran auszuschliessen, zu verfallen. Durch keinen der angeführten Versuche wurde dies, ja häufig wurde das Gegenteil bewiesen. Zu einem Teil, so haben wir anzunehmen, verschwinden also auch die chemischen Strahlen wirklich durch ihre Beteiligung an dem Produktionsprozesse.

Ich habe diese Dinge etwas breiter behandelt, als wie dies später in diesen Vorlesungen mit allen besondern Gegenständen möglich sein wird, und dabei gleichsam alle Winkelzüge der experimentellen und spekulativen Forschung verfolgt. Dies geschah nicht allein wegen der Wichtigkeit des fundamentalen Prozesses, dem wir zuerst unsere Aufmerksamkeit geschenkt haben, oder wegen des Interesses, das ich persönlich an demselben genommen habe und noch nehme, sondern hauptsächlich, um sogleich zu Anfang einige gut erläuterte Beispiele zu geben von den stets sich wiederholenden logischen Operationen in einer experimentellen Wissenschaft, woraus nicht bloss die Kenntnis des Lernenden sich mehren, sondern auch sein Urteil über die zu wählende Forschungsmethode gebildet werden soll.

Ich möchte endlich noch kurz darauf aufmerksam machen, welcher Nutzen dem chlorophyllhaltigen Organ durch die besprochene Fluoreszenz erwachsen kann, trotzdem dass diese Anschauung von teleologischem Beigeschmack gefunden worden ist. Wir haben heute gesehen, dass gerade den weniger brechbaren, den sogenannten leuchtenden Strahlen eine grosse Wirksamkeit durch Leistung der vielbesprochenen chemischen Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle zukommt, während den „chemischen“ Strahlen eine solche jedenfalls nur in geringerem Grade zuerkannt werden konnte. Nun haben wir weiter in der Fluoreszenz des Chlorophyllfarbstoffs eine Fähigkeit der grünen Organe erkannt, „chemische“ Strahlen in solche weniger brechbare leuchtende Strahlen zu verwandeln, und zwar in solche von hervorragender Assimilationsbefähigung. Die durch diese Eigenschaften verwandelten Strahlen, die z. T. an der dem Lichte abgewendeten Seite des Blattes oder infolge der Strahlung des neuerzeugten Fluoreszenzlichtes nach allen Seiten austreten werden, sind so *von neuem befähigt*, in den chlorophyllhaltigen Zellen eines zweiten Blattes *Produktion von organischer Substanz zu bewirken*, wobei die Thatsache zu bemerken ist, dass das Fluoreszenzlicht in seiner Qualität genau mit derjenigen übereinstimmt*), welche nach den neueren Untersuchungen am meisten zum Produktionsprozess befähigt ist. Es werden durch diese Vorrichtung offenbar *mehr Strahlen* zur Leistung dieser Arbeit veranlasst, als ohne Fluoreszenz der Fall sein könnte; und so kommt es denn, dass ein grüner Wald nicht bloss für unser Auge ziemlich dunkel erscheint, sondern auch bei der Photographie sich völlig unfähig erweist, eine andere Gattung von Strahlen, die er von der Sonne empfängt, wieder zurückzuwerfen.

Zum Schlusse dieser Vorlesung möchte ich noch eine an die eben erörterten Verhältnisse sich anschliessende Beobachtung mitteilen, deren Resultate sich eigentlich aus dem bisher über Lichtwirkung Mitgeteilten leicht ableiten lassen. Man hat nämlich *irdische* Lichtquellen auf ihre Fähigkeit geprüft, die chemische Arbeit der Produktion von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle zu leisten.

*) Rote Strahlen zwischen den Linien B und C. Dass diese im Absorptionsspektrum des Chlorophylls so schwach vertreten sind, darf nicht befremden, da ja das Fluoreszenzlicht nach allen Seiten zerstreut wird.

Wir sind vorhin mit der Thatsache bekannt geworden, dass es Strahlen sind, die nahe mit den leuchtenden zusammenfallen, welche vorzugsweise befähigt erscheinen, diese Arbeit zu leisten, und daraus geht schon hervor, dass irdische Lichtquellen (die z. B. durch Glühen von durch chemische Prozesse hocherhitzten Körpern entstehen und die bekanntlich an hellleuchtenden Strahlen ziemlich reich und nur an chemischen Strahlen arm und daher zu photographischen Wirkungen wenig befähigt sind), wenn sie nur ausreichende Intensität besitzen, auch zur Leistung der Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle geeigenschaftet sein müssen. Dies haben nun auch die in dieser Richtung angestellten Versuche bestätigt, wenn auch die Befähigung schon verhältnismässig schwach leuchtender Flammen durch fehlerhafte Untersuchungsmethoden übertrieben worden zu sein scheint*).

Dasselbe würde natürlich für das Licht des Mondes gelten, wenn dieses nicht thatsächlich zu schwach wäre, um für die Produktionsthätigkeit der grünen Pflanze noch irgend in Betracht zu kommen. Keinenfalls liegt auf diesem Gebiete der sagenhafte Einfluss des nächtlichen Gestirnes auf das Pflanzenleben.

Elektrisches Licht hat seiner grossen Intensität wegen natürlich eine bedeutende Produktionswirkung und ist vielfach mit Erfolg zu physiologischen Versuchen, wenn auch nicht zur praktischen Pflanzenkultur benutzt worden, doch muss das beleuchtete Objekt sich naturgemäss in grosser Nähe befinden.

Dass polarisiertes Licht sich hinsichtlich einiger Leistungen auf das Pflanzenleben wie gewöhnliches verhält, also auch die Polarisationsebene desselben für diese nicht in Betracht kommt, versteht sich eigentlich von selbst, ist aber zum Überflusse experimentell erwiesen worden**).

Vierte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die Rolle des Chlorophylls. — Die produzierte organische Substanz. — Existenzbedingungen des Chlorophylls.

Wir haben bis jetzt die Bedingungen festgestellt, die notwendig erfüllt sein müssen, damit in der chlorophyllhaltigen Zelle organische Substanz Entstehung nimmt, und uns gleichzeitig eine etwas eingehendere Vorstellung von dem Wesen jenes Prozesses des Entstehens von organischer Substanz gemacht. Wir wissen nunmehr, dass wir es *in diesem Prozess mit einer chemischen Arbeit zu thun haben, die*

*) Vergl. hierüber Böhm: Sitzungsber. d. k. Akad. zu Wien, Bd. 69, 1874, März. — Sehr schwaches Licht genügt zum Produktionsprozesse bei den mit besonderen (linsenförmigen) Apparaten zur Konzentrierung des Lichtes ausgestatteten *Leuchtmosen*, die dadurch zum Leben in dämmrigen Klüften und Höhlen ausgestattet sind. Vergl. F. Noll: Arbeiten des bot. Inst. Würzburg III. p. 477.

**) Askenasy: Verhandlungen des naturwissensch. Vereins zu Heidelberg.

vom Lichte und zwar von *einem gewissen Teile dieses Lichtes,* das in seiner Brechbarkeit und Wellenlänge ungefähr mit den sogenannten leuchtenden Strahlen zusammenfällt, *geleistet wird.*

Es wurde schon von vornherein betont, dass jener Prozess nur in der chlorophyllhaltigen Zelle*) vollzogen wird, dass alle Zellen, die jene Einrichtung, die wir mit Chlorophyllgehalt bezeichnen, nicht besitzen, auch nicht fähig sind, organische Substanz in sich zu erzeugen, und dass daher alle Organismen und Organismenteile, die dergleichen Zellen nicht enthalten, auf die Aufnahme von schon gebildeter organischer Substanz angewiesen sind, dass sie sich, wie wir uns ausdrücken, von organischen Stoffen ernähren.

Nichts ist natürlicher, als dass man schon frühe darauf bedacht war, die *Rolle zu ergründen, welche das Chlorophyll* bei der Produktionsarbeit spielt, da dasselbe für die Möglichkeit des Zustandekommens dieses Prozesses durchaus entscheidend war; — nichts schien einfacher als die Bildung von organischer Substanz auf einen *chemischen Vorgang*, bei dem jener grüne Farbstoff eine thätige Rolle spielte, zurückzuführen.

Ich werde nun zuerst mitzuteilen haben, was in dieser Richtung geschehen ist, um dann zu sehen, wieviel Klarheit in den bis jetzt noch dunklen Chemismus des fraglichen Prozesses auf diese Weise gebracht worden ist.

Ich erinnere daran, dass die sogenannten Chlorophyllkörner (oder anders geformten Chlorophyllkörper), durch welchen Apparat sich die chlorophyllhaltigen Zellen allein vor andern nicht zur Produktion von organischer Substanz fähigen Zellen auszeichnen, durch Alkohol ihrer grünen Farbe beraubt werden können, so dass nach dem Behandeln mit diesem Lösungsmittel nur noch die ungefärbte protoplasmatische Grundlage übrigbleibt. In dem alkoholischen Extrakt befindet sich alsdann der unreine grüne Farbstoff und kann daraus durch Verdampfen des Alkohols oder auf irgend einem andern Wege wieder abgeschieden werden.

Es ist einstweilen noch ohne Einfluss auf die Theorie des Vorgangs geblieben, dass es gelungen ist, diesen grünen Farbstoff durch chemische Mittel in einen gelben und einen grünen zu zerlegen. Der leicht abzuscheidende gelbe Farbstoff, das Xanthophyll, steht nach allen einschlagenden Untersuchungen in keiner genetischen Beziehung zum grünen, welch letzterer als das eigentlich wirksame Chlorophyll aufzufassen ist. Das sehr widerstandsfähige Xanthophyll ist auch anscheinend noch unverändert in vielen herbstlichen Blättern vorhanden, in welchen der grüne Farbstoff zerstört ist und welche nicht mehr zur Verarbeitung der Kohlensäure befähigt sind**).

Öfters sind Untersuchungen darauf gerichtet gewesen, zu ermitteln, ob der grüne Farbstoff, getrennt von der Pflanze, nicht ähnliche Wirkungen auszuüben vermöchte wie in der lebenden Zelle, ob nicht etwa, wenn man ihm das gehörige Rohmaterial, Wasser und Kohlensäure, zu Gebote stellte und gleichzeitig für eine ge-

*) resp. versehen mit einem stellvertretenden Farbstoffe.

**) In betreff der ganzen einschlagenden Litteratur verweise ich die Interessenten auf die sehr sorgfältigen und erschöpfenden Darstellungen von Tschirch: Landw. Jahrb. 1884.

hörig intensive Lichtquelle sorgte, kurz, die Bedingungen erfüllte, unter denen in der chlorophyllhaltigen lebenden Zelle organische Substanz produziert wird, das Licht auch ausserhalb der Zelle zu der gleichen chemischen Arbeit veranlasse.

Wir werden, ehe wir das Resultat dahin gerichteter Bestrebungen mitteilen, das Verhalten des Chlorophyllfarbstoffs in der alkoholischen Lösung oder überhaupt ausserhalb der Zelle gegen das Licht, dessen chemische Zusammensetzung u. s. w. betrachten und sehen, inwiefern diese Verhältnisse zu der Hoffnung, jenen Prozess auch ausserhalb der lebenden Zelle vor sich gehen zu lassen, berechtigten.

Als man den Chlorophyllfarbstoff, wie wir die in den Extrakten enthaltene, von der protoplasmatischen Grundlage getrennte grüne Substanz immer nennen wollen, auf sein Verhalten dem Lichte gegenüber untersuchte, fand man, dass (wie wir dies schon erwähnt haben) diesem grünen Farbstoff die Fähigkeit zukomme, die „chemischen" Strahlen zurückzuhalten. Ich erinnere daran, dass die toten grünen Blätter ungefähr wie die lebenden, wenn man sie auf photographischem Papier dem Lichte darbietet, da, wo sie liegen, sehr vollständig die Schwärzung des Papiers verhüten, so dass man auf diese Weise eine Art von photographischen Abdrücken erzeugen kann. Genau dasselbe bewirkt auch ein Chlorophyllextrakt, und es ist somit dieses Verschlucken von „chemischen" Strahlen eine Eigentümlichkeit, die der Chlorophyllfarbstoff, gleichviel wo er sich befindet, im lebenden Blatt oder herausgerissen aus dem Zusammenhang des Organismus, besitzt. Wir haben schon in der vorigen Vorlesung dieses Verschlucken von chemischen Strahlen z. T. auf Absorptions- und Fluoreszenzerscheinungen zurückgeführt, die dem Farbstoff *als solchem* zukommen, und damit die Sache von unserem Standpunkte aus abgethan.

Hier wollen wir nur erörtern, welche Folgerungen man früher, ehe man den von uns dargelegten Zusammenhang ahnte, aus diesem Verhalten der Chlorophylllösungen zu ziehen geneigt war. Man sah Licht, und zwar Licht, das zu chemischen Arbeiten befähigt war, in den Chlorophylllösungen verschwinden. Was war natürlicher, als anzunehmen, dass auch die Strahlen in jenem Extrakt dieselbe chemische Wirkung vollzögen, die sie, wie man glaubte, in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzogen, und dass man es infolgedessen auch für möglich hielt, jenen merkwürdigen Prozess der Produktion von organischer Substanz bis ausserhalb der Pflanzenzelle zu verfolgen und sich schon auf dem Wege meinte, jenen physiologischen Vorgang auf einen rein chemisch-physikalischen zurückzuführen?

Dazu kam noch, dass chemische Arbeiten anderer Art bekanntlich ohne einen eigens dazu eingerichteten Apparat an jedem beliebigen Orte vollzogen werden konnten — ich erinnere nur an die Reduktion von Silbersalzen, die man einfach dem Lichte darzubieten braucht, um die Arbeit sich vollziehen zu sehen. Ein Ähnliches für die Reduktion von Kohlensäure und Wasser anzunehmen und sich hierbei den Chlorophyllfarbstoff als eine *vermittelnd* wirkende Substanz zu denken, an die der Sauerstoff jener Körper zuerst abgegeben werden müsste, ehe er durch chemische Arbeit in Freiheit gesetzt wird, war eine sehr plausible Hypothese. Dass zu diesem Prozesse *mindestens* die Anwesenheit eines solchen vermittelnd wirkenden Stoffes notwendig sei, darüber konnte man keinen Augenblick zweifelhaft sein; denn man sah ja, dass in einem von der Sonne beschienenen Glas „Sodawasser", in dem

doch sonst alle Bedingungen der Erzeugung von organischer Substanz vorhanden waren, diese nicht vor sich ging.

Es schien also bei oberflächlicher Betrachtung dieser Verhältnisse, als ob es möglich sei, jenen Prozess der Reduktion von Kohlensäure und Wasser zu organischer Substanz unter Mithilfe des Chlorophyllfarbstoffs an jedem beliebigen Orte, sogar in einer alkoholischen Lösung vor sich gehen zu lassen, und man stellte damals nähere Untersuchungen an über den Gasaustausch solcher Chlorophylllösungen bei starker Belichtung und über deren sonstige Veränderungen*). Allein nun fand man, dass zwar ein Gasaustausch stattfände, aber *gerade im umgekehrten Sinne, als man erwartet hatte;* man fand, dass der belichtete Farbstoff Kohlensäure abgab und Sauerstoff aufnahm, mit andern Worten, eine langsame Oxydation in sich vollzog, genau wie dies die meisten organischen Substanzen unter diesen Umständen thun. Dabei tritt gleichzeitig eine Entfärbung des Chlorophyllfarbstoffs, die von der Belichtung bedingt ist, ein, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man solche Lösungen vergleichungsweise am hellen Tageslichte und im Dunkeln stehen lässt**). Auch ist die Entfärbung Folge des Oxydationsprozesses, denn es gelingt, sie durch Abschluss von Sauerstoff auch im Lichte zu verhüten. Dadurch wird natürlich nicht die anderweitig nachgewiesene Thatsache ausgeschlossen, dass auch durch Reduktionsprozesse Chlorophyll entfärbt werden kann, wie ja viele organische Farbstoffe ein ähnliches Verhalten zeigen.

Hier begünstigt also das Licht — es interessiert uns wenig, dass es auch in diesem Falle die minder brechbaren Strahlen sind — einen Oxydationsprozess, wie er an vielen andern organischen Substanzen unter Lichtwirkung stattfindet, und es liegt einstweilen keine Veranlassung vor, diesen Vorgang mit dem Prozess in der lebenden chlorophyllhaltigen Zelle in Verbindung zu bringen. Man hat dies zwar wohl versucht***) und wollte die Wirksamkeit des Chlorophylls in der lebenden Zelle eben dadurch erklären, dass sich dasselbe unter Einfluss des Lichtes oxydiere, aber dort nicht wie ausserhalb der Pflanze auf Kosten des freien, sondern auf Kosten des

*) Auch Lösungen von Chlorophyll in Baumöl, durch Schütteln zu einer grünen Milch emulgiert, blieben belichtet und beim Durchleiten von Kohlensäure ohne zersetzenden Einfluss auf diese, wie durch den Autor in vielfach abgeänderten Versuchen nachgewiesen wurde.

**) Über Bedingungen der Verfärbung und deren Unterscheidung von einer Modifikation der Chlorophylllösung vergl. auch Gerland: Poggend. Annal. 1871, Bd. 143, p. 585. Der Sauerstoff wandelt zunächst das Chlorophyll in einen Farbstoff von modifizierten Absorptionsstreifen, sogen. Chlorophyllan, um, und dann wirkt erst starkes Licht entfärbend. — Die Modifikation von Chlorophyll in Chlorophyllan kann auch durch Säuren bewirkt werden. Das Chlorophyllan, das — siehe weiter unten im Texte — leicht nach der Methode von Hoppe-Seyler krystallisiert erhalten werden kann, ist durch Zinkstaub auf dem Wasserbade wieder in Chlorophyll zurückzuführen. Vergl. A. Tschirch: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1883, p. 2733. Auf dem Einfluss, den Säuren auf die Entfärbung des Chlorophylls haben, beruht der Zusatz von Soda, den man beim Kochen von manchen Gemüsen und der Konservenfabrikation zusetzen muss, um die schöne grüne Farbe zu erhalten.

***) Über die Art der Wirksamkeit des Chlorophylls sind in früherer Zeit die phantastischsten Hypothesen aufgestellt worden, deren Aufzählung uns hier erspart bleiben mag. Vergl. übrigens Mohl: Veget. Zelle. 1854, p. 205.

in der Kohlensäure und dem Wasser enthaltenen Sauerstoffs, die dabei zu organischer Substanz reduziert werden sollten.

So fruchtbar eine solche Theorie auf den ersten Blick zu sein scheint, so ist doch zunächst der fragliche Prozess auf diese Weise der Erklärung nicht viel näher gerückt. Denn offenbar entsteht sofort nach Acceptierung dieser Annahme die neue Schwierigkeit, die Ursache für die stete Neubildung des Chlorophylls durch Reduktion aufzufinden, ein Vorgang, der ausserhalb der Zelle niemals beobachtet wurde und der wie die Entstehung von organischer Substanz die Leistung einer chemischen Arbeit voraussetzt*).

Die Oxydation des Chlorophyllfarbstoffs, welche bei Entfärbung desselben eintritt, ist ein Vorgang, dem eine grosse Anzahl organischer Verbindungen unterworfen sind, die gleichwohl deshalb nicht befähigt sind, eine so merkwürdige Rolle in der lebenden Pflanze zu spielen, und dieselbe hat voraussichtlich nichts mit der Befähigung des Chlorophylls zu dieser Rolle zu thun.

Wir haben also gesehen, dass es bisher nicht möglich war, den Chlorophyllfarbstoff ausserhalb der lebenden Zelle zu irgend einer Thätigkeit zu bringen, die zu dem Vorgang in der chlorophyllhaltigen Zelle in irgend einer klaren Beziehung steht, obgleich dies seiner Zeit nach dem Verhalten jenes Farbstoffs dem Lichte gegenüber vermutet werden durfte.

Auffallend unfruchtbar sind bis jetzt auch noch die in anderer Richtung angestellten chemischen Untersuchungen des Chlorophylls bezüglich der Aufklärung seiner Mitwirkung am Produktionsprozesse geblieben, wie denn die Darstellung des Farbstoffs

*) Eine wichtige Thatsache, von Timirjaseff in dieser Richtung noch beigebracht (vergl. Compt. rend. 102, p. 686), ist die, dass ein Reduktionsprodukt des Chlorophylls, das sich natürlich mit Sauerstoff grün färbt, dies auch mit Kohlensäure im Lichte thut. Hieran wird die weitere Untersuchung anzuknüpfen haben. Ferner ist zu berücksichtigen die Angabe von P. Regnard (Compt. rend. 101, p. 1293), der nicht bloss eine schwache Sauerstoffausscheidung durch aus der Zelle isolierte Chlorophyllkörner beobachtete (dies war auch schon von Engelmann wahrgenommen), sondern auch Anzeichen dieser Wirkung fand in auf Cellulose ausgebreiteten Chlorophyllpräparaten. Die Angabe bedarf natürlich sehr der Bestätigung. — Von seiten der Physiker sind nach einer anderen Richtung hin Erklärungsversuche angebahnt worden. Man hat nämlich durch genaue spektroskopische Untersuchungen gefunden, dass das Fluoreszenzlicht des Chlorophylls von der Brechbarkeit des ersten und breitesten Absorptionsstreifens desselben ist, d. h. also, dass durch die Fluoreszenz Strahlen von verschiedener Wellenlänge in solche von einer bestimmten Wellenlänge und zwar von derselben umgewandelt werden, für welche auch eine sehr grosse Absorptionsfähigkeit besteht. Es sind dies rote Strahlen zwischen den Fraunhofer'schen Linien B und C. Es soll nun nach Lommel (Poggend. Annal. 1871, Bd. 143, p. 568) diese Gegend des Spektrums der eigenen Schwingungsdauer der Chlorophyllmoleküle entsprechen, oder, um ein Bild aus der Akustik zu gebrauchen, jenes Rot der dem Chlorophyll eigentümliche Ton sein, den es zu erzeugen und dessen Schwingungen ihm die Umgebung mitzuteilen vermag. Unter dem Einflusse gerade dieser Schwingungen erfolge dann die Zerlegung der Kohlensäure, wobei die Thatsache des optisch ähnlichen Verhaltens auch des toten Chlorophylls kein unübersteigliches Hindernis abgiebt. Danach müsste auch zwischen B und C des Spektrums die Kohlensäurezerlegung am stärksten sein, was mit den neuesten auf diesem Gebiete eruierten Thatsachen (vergl. die vorige Vorlesung) recht wohl im Einklang steht.

als chemisches Individuum überhaupt noch nicht mit Sicherheit gelungen ist. Nur vom (durch Säuren oder auf andere Weise) modifizierten Chlorophyll, dem Chlorophyllan, hat man, da es leicht durch Krystallisation gereinigt werden kann, übereinstimmende Analysen erhalten. Das Chlorophyll unterscheidet sich vermutlich von diesem Körper durch einen geringeren Sauerstoffgehalt.

Chlorophyllan nach Hoppe-Seyler*).

C	73,4 %	O	9,6 %
H	9,7 „	P	1,4 „
N	5,6 „	Mg	0,3 „.

Von den Aschenbestandteilen scheint der Phosphor mit zum Molekül zu gehören, und man denkt bereits an eine Konstitution analog dem Lecithine**), in welchem die dreibasische Phosphorsäure ein kompliziertes Molekül an der einen Seite von der Zusammensetzung der Fette, an der anderen Seite eine stickstoffhaltige Basis zusammenhält.

Eisen, das man früher bei der Analyse ungenügend gereinigter Chlorophyllpräparate fand, und auf dessen Vorkommen bereits Theorieen analog der Wirkung des Eisens im Blut gegründet werden sollten, kommt also in diesem krystallisierten Derivate nicht vor. Das regelmässige Vorkommen von Eisen im Chlorophyllorgane hat dessenungeachtet ein sehr bedeutendes praktisch-physiologisches Interesse und später werden wir an einem ganz anderen Orte eine diese Beobachtung bestätigende Thatsache zu verzeichnen haben, nämlich die, dass die Pflanze zur erfolgreichen Ausbildung ihres Chlorophyllapparates des Eisens notwendig bedarf. Wir werden dort sehen, dass die bei Ausschluss von Eisen erzogene Pflanze, da sie unfähig ist, den grünen Farbstoff in sich auszubilden, ein gelbliches Ansehen behält, von diesem krankhaften und die Blätter ihrer Produktionsfähigkeit beraubenden Zustande aber durch die Zufuhr von Eisen geheilt werden kann. So wichtig diese Beziehung für eine künftige Theorie des Vorgangs im Chlorophyllaparate auch sein mag, bis jetzt haben sie noch keine erkennbare Bedeutung für die vorliegende Frage. Der nicht unbedeutende Stickstoffgehalt des Chlorophyllderivates erklärt übrigens die Thatsache, dass man durch Stickstoffdüngung den Gehalt an grünem Farbstoffe steigern kann***) — eine auch in der landwirtschaftlichen Praxis sehr in die Augen springende Thatsache.

Im übrigen müssen wir uns offen gestehen, dass die chemischen und physikalischen Untersuchungen der bis jetzt dargestellten Chlorophyllpräparate noch kein Licht gebracht haben in das tiefe Dunkel des Vorgangs, den nach allen Seiten zu betrachten die Aufgabe dieser unserer ersten Vorlesungen ist. Wir sind auch mit Hilfe der eben angeführten Erfahrungen zur Zeit unfähig, diesen Vorgang auf bekannte Erscheinungen zurückzuführen oder gar denselben ausserhalb der lebenden Zelle verlaufen zu lassen.

Wenn es uns dennoch gelungen ist, organische Substanz aus unorganischen Stoffen, d. i. aus Kohlensäure und deren Verbindungen künstlich darzustellen, so

*) Damit stimmen auch die Analysen von Gautier und Rogalski leidlich überein.

**) Hoppe-Seyler: Zeitschr. f. physiol. Chemie 3, p. 348.

***) Gilbert: Brit. Assoc. f. th. Advanc. of science. Aberdeen 1885.

haben wir dabei immer einen andern Weg eingeschlagen, als ihn die Natur zur Erzeugung der organischen Substanz ausschliesslich betritt. Betrachten wir irgend eine unserer Methoden, z. B. die Darstellung von Kohle oder irgend welcher anderen reduzierten organischen Substanz aus einem anorganischen kohlensauren Salze mittelst eines Metalls, das eine grosse Affinität zum Sauerstoff besitzt, z. B. Kalium, so benutzen wir offenbar eine schon vorhandene chemische Affinität und vollziehen eine chemische Reaktion im gewöhnlichen Sinne des Worts, während wir nicht im stande sind, *durch eine äussere Kraft* unter Anhäufung von chemischen Kräften die organische Substanz zu erzeugen, wie dies die Natur stets thut. Wir können also sagen: *Ausserhalb von Organismen entsteht die organische Substanz*, so viel wir wissen, *niemals unter Leistung einer chemischen Arbeit durch äussere Kräfte und jedenfalls nicht durch das Sonnenlicht.* Es ist dies immerhin bemerkenswert, da dieser Satz nicht für alle chemischen Arbeiten gilt, z. B. nicht für die Reduktion des Chlorsilbers.

Als wir bisher vom Prozesse der Erzeugung von organischer Substanz sprachen, hatten wir damit keine spezielle organische Substanz im Auge, sondern nur das Entstehen einer chemischen Verbindung, die weniger Sauerstoff enthielt als ein Körper, den man sich durch den blossen Zusammentritt von Wasser und Kohlensäure gebildet denkt, ein Vorgang, der mit chemischen Formeln allgemein wie folgt ausgedrückt werden konnte:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_x\,H_{2y}\,O_{2x+y-z} + z\,O,$$

wo x, y, z noch ganz unbestimmte Werte haben sollten.

Wir müssen nun etwas näher auf diejenigen organischen Substanzen eingehen, deren direkte Erzeugung durch das Chlorophyllorgan beobachtet worden ist. Wir werden dabei bemerken, dass x, y, z nur ganz wenige Werte anzunehmen fähig sind, dass mit anderen Worten nur sehr wenige organische Substanzen von ganz bestimmtem Gruppencharakter direktes Assimilationsprodukt der chlorophyllhaltigen Zelle sind. So kann man z. B. als Resultat aller dahin gerichteten Beobachtungen anführen, dass z niemals kleiner wird als 2x, d. h. also, dass bei dem Vorgang der Produktion von organischer Substanz wenigstens so viel Sauerstoff frei wird, als in der verarbeiteten Kohlensäure vorhanden war. Zugleich kann man behaupten, dass y nahezu gleich x zu sein pflegt, d. h. also, dass bei der Produktion von organischer Substanz Kohlensäure und Wasser nahezu im Verhältnis ihrer Molekulargewichte verarbeitet werden. Durch diese Angaben ist die Zahl der möglicherweise entstehenden organischen Verbindungen schon wesentlich beschränkt.

Ganz in der Regel ist nämlich die zuerst beobachtete Verbindung ein Kohlenhydrat und zwar ein bestimmtes Kohlenhydrat, das Stärkemehl. Die Beobachtung von Stärkemehl in den grünen Organen unter ganz bestimmten Umständen hat seiner Zeit nicht wenig zur klareren Erkenntnis des innigen Zusammenhanges zwischen Sauerstoffabscheidung und Bildung von organischer Substanz beigetragen. Die Entdeckung der Abhängigkeit des Auftretens von Stärkemehl in den chlorophyllbeladenen Zellen von den Bedingungen, die zur Sauerstoffabscheidung unerlässlich sind, bildet eine wichtige Ergänzung zu der bereits in den vorausgehenden Vorlesungen berührten Geschichte von der Entwicklung unserer Einsicht in den vielbesprochenen Prozess der Entstehung von organischer Substanz.

Es ist eine Thatsache, die wir dem berühmten Botaniker Hugo v. Mohl*) verdanken, dass die Chlorophyllkörner der meisten Pflanzen Einschlüsse von Stärkemehl enthalten, und es konnte sogar schon von ihm in einzelnen Fällen konstatiert werden, dass diese Einschlüsse entstehen in vorher stärkefreien Chlorophyllkörnern. So unzweideutig die Thatsache heute für das Entstehen dieser Stärkemehleinschlüsse aus Kohlensäure und Wasser unter gleichzeitiger Sauerstoffabgabe zu sprechen scheint, so hat dieselbe doch ihrer Zeit von mancher Seite**) eine für unsere heutigen Begriffe äusserst künstliche Deutung erfahren. Man wollte z. B. dieses Stärkemehl als das Rohmaterial betrachten, aus dem unter (der beobachteten) Sauerstoffabscheidung das Wachs entstehen sollte, welches wir als einen Bestandteil des Chlorophyllkörpers noch kennen lernen werden.

Zum Glück machten aber neuere Versuche einerseits von Cramer und Nägeli***), andererseits von J. Sachs diesen Konstruktionen bald ein Ende. Die beiden ersteren Forscher haben namentlich das Wachsen der Stärkekörner innerhalb der Chlorophyllkörner, denen sie eingebettet erscheinen, beobachtet, und Sachs†) gelang es dann zu zeigen, dass das *Licht* eine „conditio sine qua non" des Entstehens der Stärkemehleinschlüsse ist, indem dieselben in den Chlorophyllkörnern nur bei (genügender Wärme und) Belichtung auftraten. Später gelang dem letzteren Forscher sogar der weitere Nachweis, dass die einmal vorhandenen Stärkeeinschlüsse nach längerem Verweilen der Pflanze im Dunkeln infolge von Prozessen, auf die wir in späteren Vorlesungen unsere Aufmerksamkeit zu richten haben werden, wieder verschwinden und dann durch neue Lichtwirkung sich von neuem erzeugen lassen, wodurch also die behauptete Relation in genügender Weise dargelegt ist††).

Neuerdings hat Sachs aus der früheren subtilen mikroskopischen Methode eine jedem leicht zugängliche makroskopische gemacht, indem er zeigte, dass grüne Blätter der verschiedensten Pflanzen (namentlich die von Kohl und von Kapuzinerkresse eignen sich zu diesem Versuche)†††) 10 Minuten lang gekocht und dann einige Zeit mit starkem heissem Alkohol ausgelaugt, nur dann nach einem mehrstündigen Liegen in Jodlösung eine schwärzliche Farbe annehmen, wenn Stärke im Mesophyll der Blätter anwesend ist, während im anderen Falle eine bloss gelbe Färbung erreicht wird. Diese einfache Methode erscheint natürlich sehr geeignet, unsere Er-

*) Vermischte Schriften 1864, p. 361.

**) Mulder; vergl. Mohl: Veget. Zelle. 1851, p. 205.

***) Pflanzenphysiologische Untersuchungen II, p. 398.

†) Sachs: Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 28; vgl. auch Kraus: Pringsh. Jahrbücher 1870.

††) Freilich hatte auch diese Beweisführung noch einige Lücken, worauf später von Böhm aufmerksam gemacht wurde. Stärkeeinschlüsse im Protoplasma resp. den Chlorophyllkörnern kommen nämlich leicht im Lichte zu stande, auch aus schon vorhandenen Kohlenhydraten (vergl. auch A. Meyer: Botan. Zeitung 1885, Nr. 27 u. f.). Wir übergehen aber diese Einwürfe, da sie mehr von logischer als von praktischer Natur sind und Sachs der Hauptsache nach schon damals richtig gesehen hatte.

†††) Ich benutze in der Vorlesung stets panachierte Kohlblätter, weil dann in den ursprünglichen weissen Teilen die Färbung unterbleibt und so die Abhängigkeit des Auftretens von Stärkemehl vom Chlorophyllgehalte deutlicher wird.

fahrungen über Entstehen und Vergehen von Stärkemehl in Pflanzenorganen in sehr willkommener Weise zu vervielfältigen.

Das Stärkemehl ist nun eine chemische Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff von der ungefähren Formel $C_6H_{10}O_5$*). Für Entstehung dieser Verbindung aus Kohlensäure und Wasser gestaltet sich die oben allgemein gegebene Formel:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_xH_{2y}O_{2x+y-z} + z\,O$$

für Kohlenhydrate:

$$x\,CO_2 + y\,H_2O = C_xH_{2y}O_y + 2x\,O,$$

wo $z = 2x$, und speziell für Stärke zu:

$$6\,CO_2 + 5\,H_2O = C_6H_{10}O_5 + 12\,O,$$

wo also $x = 6$, $y = 5$.

Hier ist also z nicht kleiner als 2x (genau ebensogross) und x und y haben nahezu gleiche Werte, wie dies schon als allgemeines Resultat angegeben wurde.

Mit der Annahme, dass das Stärkemehl in der Regel das erste Produkt der Erzeugung von organischer Substanz sei, stimmt die von de Saussure gefundene, von uns noch nicht erwähnte Angabe**) recht gut, dass die produzierte organische Substanz bei verschiedenen Pflanzen etwas mehr als das doppelte Gewicht des assimilierten Kohlenstoffs betrage. Wenn wir nach der eben gegebenen Formel berechnen, wie sich die Mengen dieser Stoffe zu einander verhalten müssen, so finden wir in der That:

assimilierter Kohlenstoff : organische Substanz = 72 : 162.

Es spricht ferner eine Reihe von Versuchen v. Boussingault***), durch welche die relativen Mengen der bei dem Produktionsprozess aus- und eintretenden Gase bestimmt wurden, dafür, dass die zunächst entstehende Substanz ein Kohlenhydrat ist, indem diese Gasmengen dem Volumen nach einander nahezu gleich gefunden wurden, und eine leicht auszuführende Berechnung lehrt, dass dies Verhältnis nur für die Annahme des Entstehens von Kohlenhydraten zutrifft. Die Fette sind nämlich ganz allgemein sauerstoffärmer als die Kohlenhydrate; die in den Pflanzen auch sehr allgemein vorkommenden Pflanzensäuren sauerstoffreicher als diese. Wenn man für diese beiden Stoffgruppen, welche noch am ehesten als mögliche Erstlingsprodukte des Produktionsprozesses in Anmerkung kommen könnten, die Gleichung aufstellt, so werden natürlich entweder mehr oder weniger Moleküle Sauerstoff ausgeschieden, als Kohlensäure aufgenommen. Da nun Sauerstoff und Kohlensäure die beiden einzigen gasförmigen Körper sind, die bei der fraglichen Umsetzung eine Rolle spielen und gleichviel Moleküle im gasigen Zustande (nach dem Gesetze von Avogadro) gleichviel Raum einnehmen, so erhellt aus der von Boussingault erwiesenen Thatsache sofort, dass Körper von der relativen Zusammensetzung der Kohlenhydrate die Erstlingsprodukte des Assimilationsprozesses sein werden.

Die gleiche Schlussfolgerung wird noch durch eine andere Fragestellung berührt, die früher an der Tagesordnung war, in der damaligen Form aber wenigstens uns

*) Siehe hierüber genauer Vorl. 8.

**) Recherches s. l. végétation, p. 226.

***) Compt. rend., T. 53, p. 862 ff.

heute antiquiert erscheint. Man hat sich nämlich mit der Frage beschäftigt, ob der bei dem Produktionsprozesse abgeschiedene Sauerstoff aus der Kohlensäure oder aus dem Wasser stamme. Namentlich ist es Liebig gewesen, der es wahrscheinlich zu machen suchte, dass der abgeschiedene Sauerstoff wohl nicht von der Kohlensäure stammen könne, sondern eher vom leichter zersetzbaren Wasser herrühren möchte. Der freigemachte Wasserstoff sollte alsdann sofort mit der Kohlensäure zusammentreten und so die ersten organischen Verbindungen entstehen.

Offenbar glaubte man hierdurch die Arbeit, die in der Pflanze geleistet werden muss, derselben zu erleichtern; aber es muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass einmal die chemische Arbeit zur Erlangung des gleichen Endresultates und bei Verwendung des gleichen Rohmaterials dieselbe bleiben muss, ob man nun einen Umweg gestattet oder nicht, dass weiter die Kohlensäure zur Erlangung des Endresultates (Entstehung von Kohlenhydraten) doch in den Verlust von mindestens der Hälfte des ihr angehörenden Sauerstoffs früher oder später einwilligen muss.

Ferner muss nun nach kurzer Überlegung einem jeden klar sein, dass man bei der Bildung von organischer Substanz gar nicht von der gesonderten Reduktion von Kohlensäure und der von Wasser sprechen kann, denn es entsteht bei diesem Prozesse weder Wasserstoff noch Kohlenoxyd oder Kohle, sondern eben nur organische Substanz, in der beide Elemente vertreten sind. Wie die Atome der einzelnen konstituierenden Bestandteile in der organischen Substanz gelagert sind, denn darauf kommt doch die Frage bei näherer Betrachtung hinaus, darüber kann schliesslich nur das Studium des chemischen Verhaltens der gebildeten Substanz entscheiden.

Die besprochene Liebig'sche Hypothese darf indessen nicht nach sich allein, sondern sie muss billigerweise nach dem Werte anderer Anschauungen, welche mit jener verknüpft sind, beurteilt werden. So liess der genannte Forscher die organische Substanz nicht auf einmal, sondern gleichsam ruckweise vor sich gehen und zuerst Oxalsäure, dann unter successiver Sauerstoffabgabe Weinsäure, Äpfelsäure und endlich neutrale Kohlenhydrate sich bilden*). Diese Anschauung stand wieder mit einer weiteren Hypothese über die Funktion der basischen Aschenbestandteile, für deren Unentbehrlichkeit eine plausible Erklärung gesucht wird, in Zusammenhang — ein Gegenstand, der uns später beschäftigen wird. An dieser Stelle ist nur darauf hinzuweisen, dass derartige Anschauungen über die Rolle von Pflanzensäuren bei dem Assimilationsprozesse und dem stufenweise vor sich gehenden Verlauf des letzteren nicht notwendig in einem unlösbaren Widerspruche zu stehen brauchen mit den soeben erwähnten Gesetzmässigkeiten des Gasaustausches. Es könnte ja sein, dass von einem gewissen Punkte an Pflanzensäuren durch rasche Reduktion zu Kohlenhydraten ebenso schnell verschwänden, als sie entstanden sind, dass es dadurch bleibend wirklich auf die Erzeugung von Kohlenhydraten hinausliefe, und dem Gasaustausch würde dadurch der Stempel der Gleichheit der Volumina dennoch aufgedrückt sein.

*) Vergl. die Ansichten anderer Forscher über diesen Gegenstand bei Rochleder: Chem. u. Physiol. d. Pfl. 1858, p. 108 ff.

Was aber die Übereinstimmung mit den Resultaten anderer Untersuchungen, z. B. also das Vorkommen der Pflanzensäuren in den verschiedenen Pflanzenorganen und dessen Beziehung zu den Orten der Produktion betrifft, so kommen wir zwar erst später auf diesen Gegenstand zu sprechen, können aber hier schon hervorheben, dass keine derartige Relation, wie wir sie zwischen dem Auftreten der Stärkeeinschlüsse und den Bedingungen der Sauerstoffabscheidung gefunden haben, jemals für die Pflanzensäuren nachgewiesen worden ist. Im Gegenteil spricht mancherlei dafür, dass die Säuren durch einen umgekehrten Prozess, den Oxydationsprozess oder durch Spaltungsprozesse, Entstehung nehmen und eher als Ausscheidungsprodukte denn als Bildungsmaterial aufzufassen sind. Nur bei den Crassulaceen und einigen anderen dickblätterigen Pflanzen ist nachgewiesen worden*), dass in zuvor verdunkelten und infolge eines Gehaltes einer Äpfelsäure sauer reagierenden Blättern auch eine Zeit lang Sauerstoffabscheidung erfolgen kann, nachdem man die Anwesenheit von Kohlensäure auf alle mögliche Weise verhindert hat. Die Tragweite dieser

*) Adolf Mayer: Landw. Versuchsst. 18, p. 410, und namentlich die zusammenfassende Darstellung aller einschlägigen Untersuchungen ebenda 34, p. 127. Durch die einleitenden Versuche des Verfassers wurde der Hauptsache nach dargelegt und später durchaus bestätigt, dass bei manchen grünen Pflanzen ein Prozess der Sauerstoffabscheidung wahrzunehmen ist, der sich in allen Stücken an die gewöhnliche Erzeugung von organischer Substanz durch die grüne Zelle anschliesst und sich nur in dem Punkte von diesem fundamentalen Prozesse unterscheidet, dass nicht Endprodukte der pflanzlichen und tierischen Atmung, Kohlensäure und Wasser, der Ausgangspunkt sind, sondern gewisse Pflanzensäuren, die, wie spätere Versuche lehren, als Zwischenprodukt der Atmung bei denselben Pflanzen in grossen Massen erzeugt werden. — Dieselbe Erscheinung wurde später von Mangin nach künstlicher Injektion von Äpfelsäure und Citronensäure in Oleanderblätter wahrgenommen (Compt. rend. 109 p. 716). — Dazu kommt dann als Beitrag von Kraus (Abhandl. der naturf. Gesellsch. Halle 16) die Funktion dieser Säure an Kalk gebunden als eine Art von Reservenahrung an Stelle der Kohlenhydrate. Die betreffende Säure ist zu dieser Funktion befähigt, weil sie hinsichtlich ihres relativ geringen Sauerstoffgehaltes den Kohlenhydraten dreimal so nahe steht als der unorganischen Kohlenstoffverbindung, und mithin nur ein verhältnismässig kleiner Schritt, ein verhältnismässig geringer Aufwand an Arbeit nötig ist, um sie in jene Stoffe von wichtigster physiologischer Bedeutung, in Kohlenhydrate, umzuwandeln, aus welchen der Aufbau des Pflanzenkörpers zu einem so grossen Teile statthat. — Endlich hat sich an der Diskussion beteiligt Warburg (Unters. a. d. bot. Institut Tübingen II, p. 53), durch den der Nutzen der ganzen Einrichtung für Pflanzen, welche eine schlechte Transpirationsbefähigung besitzen, ins Auge springt. Schlechte Transpirationsbefähigung ist aber gleichbedeutend mit besonderen Schwierigkeiten bei der Aufnahme von Kohlensäure. Es ist deutlich, dass für solche Pflanzen es von besonderem Werte sein muss, wenn sie einen Teil des Atmungsproduktes, welches ja wieder das Rohmaterial ist für den Produktionsprozess, in sich konservieren. — Wenn somit die Erscheinung nichts anderes ist als ein Stück des Produktionsprozesses, ein Stück, zu dessen Ausführung allerdings nur bestimmte Pflanzen die nötige Einrichtung besitzen, so erhellt zugleich daraus, wie die Bezeichnung jenes als Assimilationsprozess ein schiefer Abdruck ist; denn hier wird ja eben der Kohlenstoff nicht assimiliert, sondern ist schon vorhanden. Doch aber geschieht im Wesen der Dinge genau dasselbe; denn die Pflanze wird reicher an organischem Stoffe, wenn man diesen misst an der Verbrennungswärme, und zu einer ähnlichen Wirkung ist kein anderer Prozess in der Pflanze im stande.

merkwürdigen Thatsache ist in erster Linie allerdings nur diese, dass sie besonders organisierten Pflanzen die Neuassimilation von Kohlensäure, die, in der Pflanze erzeugt, aus dem Gewebe herausdiffundieren würde, erspart. Sie ist aber zugleich ohne Zweifel die Vorstufe von zukünftigen Entdeckungen über die näheren chemischen Details des Produktionsprozesses.

Die Versuchsanstellungen, welche diesen Anschauungen über den physiologischen Wert einiger Pflanzensäuren zu Grunde liegen, kommen z. T. auf die älteren Experimente de Saussure's hinaus, der freilich seine Fragestellung nur in dem obenerwähnten Sinne, ob nämlich der aus der chlorophyllhaltigen Zelle abgeschiedene Sauerstoff der Kohlensäure oder dem Wasser entstamme, gestellt und zu beantworten gesucht hat. De Saussure suchte diese Frage zu beantworten, indem er Pflanzen in einer Atmosphäre, die frei war von Kohlensäure, kultivierte und dieselben auf einen Zuwachs an Trockensubstanz prüfte. Konnte das Wasser zersetzt werden, so schloss derselbe, so musste auch unter diesen Umständen, wo Kohlensäure fehlte und nur Wasser vorhanden war, die Bildung von neuer organischer Substanz ungestört eintreten, und da unter solchen Umständen solche nicht eintrat, so glaubte er jene Frage erledigt zu haben.

Wenn wir somit die Frage, ob der bei dem Produktionsprozesse freikommende Sauerstoff wenigstens teilweise aus der Kohlensäure stamme, entschieden mit ja beantworten können, ohne damit einer späteren Forschung, der es vielleicht gestattet ist, einige Details des merkwürdigen Prozesses noch des Näheren zu erörtern, vorzugreifen, so liegt die Sachlage anders, wenn wir die Frage, wie auch schon wiederholt geschehen, umdrehen und fragen, ob es denn nachgewiesen oder anzunehmen sei, dass auch der Sauerstoff des Wassers einen Anteil an dem ausgeschiedenen habe.

Gerade die oben angeführten Thatsachen, sowohl die über die Natur der Erstlingsprodukte des Assimilationsprozesses als der Gruppe der Kohlenhydrate angehörig, als die in betreff der Gleichheit der aufgenommenen und ausgeschiedenen Gasvolumina, sind geeignet zu beweisen, dass eben der Sauerstoff der Kohlensäure es ist, der abgetrennt und ausgeschieden wird, und damit stimmen ja auch alle unsere angestellten Betrachtungen über Kohlenstoffreduktion in der Pflanze; sonst hätten wir ja ebenso gut reden können von einer Wasserstoffreduktion. Und über Spitzfindigkeiten, wie über die Frage, ob nicht trotz dieser Übereinstimmung ein Teil des Sauerstoffs aus dem Wasser stamme, bloss deshalb, weil das Gegenteil davon nicht zu beweisen ist, wollen wir hier nicht debattieren.

Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass neben dem so regelmässig auftretenden Stärkemehl als direktes Assimilationsprodukt auch noch ein anderes Kohlenhydrat in einigen Fällen aufzutreten scheint. Es kann dies zwar nicht durch unmittelbare mikroskopische Beobachtung festgestellt werden, da das betreffende Kohlenhydrat in gelöster Form aufzutreten pflegt, ist aber durch chemische Reaktionen zu erweisen. Dieses Kohlenhydrat ist ein Zucker und meistens als Fruchtzucker oder Traubenzucker der Chemiker, beide von der Formel $C_6H_{12}O_6$, anzusehen. Doch scheinen gelegentlich auch andere Zuckerarten und lösliche Kohlenhydrate vorzukommen. Die physiologische Beziehung dieser Zuckerarten zu dem Stärkemehl

ist in der That, wie wir später zeigen werden, eine innige, so dass uns das Auftreten dieses Kohlenhydrates an Stelle jenes normalen direkten Assimilationsproduktes nicht wunder nehmen kann, ja selbst in den Fällen, wo wir Stärkemehl als Assimilationsprodukt in den Chlorophyllkörnern eingebettet finden, haben wir strenge genommen vielleicht Zucker als erstes und unmittelbares Resultat des Reduktionsprozesses anzusprechen, wenn wir nämlich die Wandelbarkeit der chemischen Form in der Gruppe der Kohlenhydrate berücksichtigen — ein Gegenstand, auf den wir später noch ausführlicher zurückkommen werden, in Bezug auf welchen wir aber jetzt schon erwähnen müssen, dass lebende grüne Blätter, im Dunkeln auf verdünnte Lösungen von den verschiedensten Kohlenhydraten oder auch von Mannit und Glyzerin gelegt, aus diesen Materialien Stärke zu bilden vermögen. Dass uns das erste greifbare Resultat des Produktionsprozesses beinahe regelmässig in der Form von Stärkeanhäufung vor Augen tritt, kann einfach diesem Vermögen zugeschrieben werden und vielleicht unterscheiden sich die nicht stärkeführenden Blätter nur in diesem Punkte von denen anderer Pflanzen und nicht in Bezug auf das Endprodukt des eigentlichen Produktionsprozesses selber*). Es ist indessen nur in vereinzelten Fällen**) (Allium Cepa und porrum) mit Sicherheit die Abwesenheit von Stärke, die Anwesenheit von Zucker nachgewiesen worden.

Die allgemeine Bildungsformel der Kohlenhydrate

$$x\ CO_2 + y\ H_2O = C_xH_{2y}O_y + 2xO$$

wird bei diesem speziellen Fall

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O = C_6H_{12}O_6 + 12\ O,$$

$$\text{wo } x = y;$$

eine Ausdrucksweise, die keiner weiteren Erläuterung mehr bedarf.

Weitere Produkte, die direkt aus der Verarbeitung von Kohlensäure und Wasser entstehen, hat man bis jetzt nicht mit Sicherheit beobachtet. Das regelmässige Auftreten von fettartigen Körpern in den Chlorophyllkörpern einzelner Pflanzenfamilien***) schien allerdings darauf hinzuweisen, dass auch solche Stoffe manchmal das erste Produkt des in Rede stehenden Prozesses sein könnten. Aber um eine solche Auffassung zu rechtfertigen, müssten dann viel mehr Volumina Sauerstoff ausgeschieden werden, als Kohlensäure verschwindet, und ein derartiger Sachverhalt ist bis jetzt in keinem einzigen Falle erwiesen. Obgleich die Anzahl der in Pflanzen durch spätere Prozesse gebildeten organischen Stoffe eine so grosse ist, dass es schwer wird, auch nur einen Überblick über dieselben zu erlangen, so gehen doch alle diese Stoffe von so mannigfaltigen Eigenschaften aus diesen wenigen, deren Bildung nur in der chlorophyllhaltigen Zelle stattfindet, hervor. Zu diesen Umbildungen ist dann, wie wir später sehen werden, keine Kraft mehr notwendig, die eine chemische Arbeit leistet; sie sind alle „chemische Reaktionen" im gewöhnlichen und früher erläuterten Sinne des Worts, und deshalb sind sie vom Vorhandensein eines Apparats wie des der

*) Vergl. namentlich Arthur Meyer: Botan. Zeitung 1886, Nr. 5—8. Nach Bockorny (Landw. Jahrb. 21, p. 445) leistet auch Formaldehyd dasselbe.

**) Unter Dikotylen ist dieser Fall nur bei Asclepias Cornuti vorgefunden. Vergl. Arth. Meyer: Botan. Zeitung 1885, Nr. 27 u. f.

***) Namentlich Cacteen, Desmideen und Zygnemaceen.

chlorophyllhaltigen Zelle unabhängig. Die allgemeinen Gesichtspunkte, unter denen solche Umwandlungen stattfinden, sollen in einer der nächsten Vorlesungen besprochen werden.

Hiermit haben wir nun unsere Kenntnisse von dem in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden Fundamentalprozesse der Pflanze, der die Grundlage bildet, ohne welche uns die Funktion der Pflanzenwelt völlig unverständlich bleiben muss und den wir deshalb mit solch erschöpfender Ausführlichkeit behandelt haben, dargelegt und so gut als möglich erläutert.

Es wird uns nach dem Vorhergehenden nun noch weiter interessieren, etwas von den Bedingungen kennen zu lernen, die zum Entstehen und Bestehen des als so wichtig erkannten Apparates der chlorophyllhaltigen Zelle unerlässlich zu sein scheinen, obgleich diese Gegenstände für die Ernährungslehre von nur sekundärem Interesse sind. Es ist aber schon deshalb notwendig, etwas auf diese Bedingungen einzugehen, damit wir das Leben sonst chlorophyllgrüner Pflanzen bei Ausschluss des Lichts — und dies ist ein Gegenstand, dessen Betrachtung sich als sehr lehrreich erweisen wird — völlig verstehen lernen.

Das Protoplasma einer chlorophyllhaltigen Zelle ist nicht etwa bei deren erster Anlage schon grün, sondern, damit es die grüne Färbung annehme und so der Apparat ausgebildet werde, wo Produktion von organischer Substanz von statten gehen kann, müssen die folgenden Umstände erfüllt sein.

Man braucht nur die etwas versteckter liegenden Blattknospen zu durchbrechen, wo man also mit aller Bestimmtheit weiss, dass man es mit Geweben zu thun hat, die schon bei ihrem Hervortreten aus der Knospe, bei ihrer Entfaltung zu Blättern mit intensivem Grün gesättigt erscheinen werden, und man wird mehr im Innern derselben schwächer gefärbte oder völlig ungefärbte Gewebspartieen wahrnehmen. Deutlicher lässt sich die Sache allerdings machen, wenn man solche Knospen in früher Zeit (oder auch die Plumula eines Embryo) mikroskopisch untersucht, zur Zeit, wo nahe dem Vegetationspunkt die Blätter erst als einzelne Zellen angelegt werden. Man kann so klar erkennen, dass zu dieser (und noch zu viel späterer Zeit) nichts von grüner Färbung in dem Protoplasma der Zellen und Zellenkomplexe vorhanden ist. Es ist also ersichtlich, dass die Chlorophyllkörner sich nicht etwa lediglich aus sich selbst bilden, indem jede neue chlorophyllführende Zelle aus einer solchen schon vorhandenen Entstehung nehmen müsste — obgleich auch dieses Verhalten eine wirkliche Vermehrung der Chlorophyllkörner durch Teilung bei noch lebhaft wachsenden Zellen ein vielfach beobachtetes ist*) — sondern, dass dieselben sich unter Umständen**) aus dem bis dahin farblosen Protoplasma einer Zelle müssen entwickeln können.

*) So bei Moosen und Algen (vergl. Hofmeister: Lehre von der Pflanzenzelle, Bd. I, p. 372), später aber noch in vielen anderen Fällen.

**) Durchaus nicht immer, denn in den Kotyledonen von Lupinen und Erbsen scheinen eingeschrumpfte Chlorophyllkörner vorhanden zu sein, welche nur durch das Licht zur Anschwellung und Teilung gebracht werden, und faktisch waren ja diese Gewebe im Stadium der Halbreife grün.

Als Bedingung der Entwickelung des farblosen Protoplasmas zu Chlorophyllkörnern spielt wiederum *das Licht* eine hervorragende Rolle. Nur in ganz vereinzelten Fällen (Kotyledonen der Samen einiger Nadelhölzer wie der von Thuja und Pinus) findet auch in tiefer Finsternis das Ergrünen des Protoplasmas gewisser Zellen statt; — *im allgemeinen ist hierzu Licht von einer gewissen Intensität erforderlich.*

Dabei wird unterschieden zwischen *Ergrünen* und der dem Ergrünen vorausgehenden Bildung von Körnern (Plasten). Der Inhalt von Zellen, die chlorophyllhaltig zu werden im Begriffe stehen, muss notwendig, ehe derselbe ergrünt, gewisse Gestaltsveränderungen durchmachen, die Formung der Körper vornehmen, die später zu Chlorophyllkörpern werden. Diese Gestaltsveränderungen des Protoplasmas sind wieder an andere Bedingungen gebunden als das Ergrünen selbst. So soll die Zerklüftung*) der noch farblosen Grundmasse des Chlorophylls bei den Kotyledonen der Sämlinge auch in tiefer Finsternis vor sich gehen, während das Ergrünen selbst der so gebildeten Körper notwendig im Lichte geschehen muss**).

In Bezug auf die Lichtintensitäten, die zum Ergrünen des chlorophyllbildenden Protoplasmas erforderlich sind, hat man die merkwürdige Thatsache aufgefunden, dass die starke Intensität des direkten Sonnenlichts weniger günstig wirkt, als die schwächere***) bei künstlicher Beschattung des ergrünenden Organs.

Betreffs der Strahlengattungen, welche für diese Wirkung auf die Ausbildung des Chlorophylls in Betracht kommen, hat man durch Anwendung ganz ähnlicher Apparate, wie bei der Untersuchung der Lichtwirkung auf die Sauerstoffabscheidung gefunden, dass nicht alle Strahlen verschiedener Brechbarkeit gleichmässig auf das Ergrünen wirken, sondern dass hierbei sich auch die leuchtenden Strahlen vor den brechbareren und weniger brechbaren dunkeln entschieden auszeichnen. v. Wolkoff liess das Ergrünen von Lepidium sativum im Lichte der rein gelben Natriumflamme vor sich gehen†). Guillemain††) hat sich zur Ermittelung dieses Sachverhalts noch einer anderen, in den Fällen, wo sie angewendet werden kann, vorzüglichen Methode bedient, indem er die im Dunkeln erwachsenen Keimpflanzen in die verschiedenen durch Schirme voneinander gesonderten Abteilungen des Sonnenspektrums brachte. Auch auf diese Art wurde deutlich nachgewiesen, dass im gelben und orangen Teil des Spektrums das Ergrünen am raschesten vor sich ging, während nach rechts und links ein bedeutender Abfall zu bemerken war.

Auch der Prozess des Ergrünens hat sich ferner als abhängig erwiesen von einem gewissen Temperaturgrade, wie ja alle physiologischen Vorgänge von einem

*) J. Sachs: Handbuch der Exper.-Phys. d. Pfl., p. 9 u. 313ff.

**) Dagegen glaubte man früher gefunden zu haben, dass zu dieser Vorarbeit bei vielen anderen Pflanzen, z. B. Zea, Mais, Vicia faba, Phaseolus vulgaris, ebenfalls Belichtung erforderlich ist. Die neuerdings herrschende Meinung ist indessen meines Wissens diese, dass in allen Zellen schon die ungefärbten Substrate der Chlorophyllkörner (Leukoplasten) anwesend seien, die sich ebenso wie Zellkerne und die ganzen Zellen durch Teilung vermehren.

***) Siehe Famintzin: Pringsh. Jahrb. 1868 a. a. O., und Prillieux: Compt. rend., T. 69, p. 1023.

†) Annal. des scienc. nat. 1857, VII, p. 160.

††) Vergl. Pringsh. Jahrbücher V, p. 11.

solchen abhängig sind, und zwar hat man auch hier wieder gefunden, dass bei verschiedenen Pflanzen verschiedene Temperaturen zu diesem Vorgang erforderlich sind. In kalten Frühlingen bemerkt man wohl bei manchen Feldfrüchten langsames Wachsen, aber zugleich eine bleiche Färbung, die nachweislich der herrschenden Kälte zugeschrieben werden muss*). Ich selbst habe einmal etiolierte Keimlinge der Pferdebohne bei 8° und darunter dem diffusen Tageslichte ausgesetzt, ohne dass Grünfärbung eintrat, während dieselbe später bei höherer Temperatur erfolgte. Dagegen ist, wie gesagt, die Lichtintensität nicht sehr bedeutend, die zum Ergrünen erheischt wird, und so gelingt es auch leicht, durch irdische Lichtquellen**) diesen Vorgang zu bewirken.

Der Einfluss des Lichts auf das Ergrünen scheint ferner völlig *lokal* zu sein, obgleich auch das Gegenteil behauptet worden ist, d. h. es ergrünen nur die Stellen eines Blattes, die direkt exponiert worden sind und nicht die dieser Stelle benachbarten, wenigstens sind die Sachs'schen***) Resultate so zu deuten.

Kohlensäure ist für das Ergrünen nicht nötig — eine wichtige Thatsache, wenn man erwägt, dass dadurch die Möglichkeit wegfällt, diese Erscheinung als einen Teil des Produktionsprozesses selbst aufzufassen, wie wohl versucht worden ist†). Zu erwähnen ist noch, dass sich für den Prozess des Ergrünens selbst eine besondere Empfindlichkeit gegen einen höheren Gehalt der umgebenden Atmosphäre an Kohlensäure herausgestellt hat††).

Dies wären ungefähr die äusseren Bedingungen, die notwendig erfüllt sein müssen, damit der Apparat, welcher später in der Pflanze zur Produktion von organischer Substanz dient, in richtiger Weise ausgebildet wird. Auch hier spielt das Licht wieder eine hervorragende Rolle, aber wie aus einigen gemachten Mitteilungen hervorgeht, keine Rolle, die nicht unter Umständen vertreten werden könnte†††). Während das Licht dort als ausnahmslos unerlässlich zur Bildung der organischen Substanz gefunden wurde und auch die Theorie auf die unumgängliche Notwendigkeit eines solchen Verhaltens hinweist, kann der eben in Rede stehende Vorgang wenigstens bei einigen Pflanzen in vollkommener Finsternis vor sich gehen.

Auch zur Erhaltung des Chlorophyllapparats in der lebenden Pflanze ist das Licht unerlässlich. Die grünen Blätter der Pflanze werden schon, einige Tage in

*) So sehr deutlich im Mai 1892 am Rapse in der holl. Provinz Groningen. Vergl. R. Bos: Zeitschrift f. Pflanzenkrankheiten 1892, p. 136.

**) P. de Candolle: Mém. prés. à l'institut des scienc. 1806, T. I, p. 332 und Hervé Mangon: Compt. rend. 1861, p. 243.

***) Vergl. J. Sachs a. a. O. p. 11.

†) Vergl. C. O. Müller: Landw. Versuchsstationen 33, p. 230.

††) J. Böhm: K. Akad. der Wissensch. zu Wien, 1873, 17. Juli. — Ältere Beobachtungen, nach welchen Wasserstoff das Ergrünen befördert (Berzelius: Lehrb. d. Chemie, 1828, III. 1, p. 220), verdienen wohl keine Beachtung.

†††) Merkwürdig sind in dieser Beziehung die Beobachtungen von C. Kraus (Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, II. Bd.), aus welchen hervorgeht, dass Methylalkohol unter Umständen eine Rolle beim Ergrünen spielen kann, doch bedürfen diese Wahrnehmungen noch der Vervielfältigung bis zu einem allgemeineren Gesichtspunkte.

mässiger Dämmerung gehalten, schwächer grün. Häufig besitzt schon der von den Fenstern entferntere Teil eines mässig hellen Zimmers nicht Lichtintensität genug, um eine solche blassere Färbung und mit der Zeit eine völlige Desorganisation des Chlorophyllapparats zu verhüten. Allerdings bieten sich der eingehenderen Untersuchung dieser Abhängigkeit wieder auffällige Unterschiede bei den einzelnen Pflanzengattungen dar. So können viele sogenannte Blattpflanzen lange in schecht erleuchteten Räumen, ohne zu verbleichen, ausharren, und namentlich ist die Aspidistra in dieser Hinsicht ausserordentlich unempfindlich und von anderen beliebten Zimmergewächsen, den Blatt-Begonias z. B., gilt in geringerem Grade dasselbe*).

Fünfte Vorlesung.

Die Produktion von organischer Substanz. — Die etiolierte Pflanze. — Allgemeinere Betrachtungen.

Wir sind aber nunmehr genugsam mit Kenntnissen ausgerüstet, um das Leben der Pflanzen bei Abschluss von Licht verstehen zu lernen und um die hauptsächlichsten Veränderungen in der Ernährung, die alle in der Dunkelheit erzogenen, aber nur am Lichte normal gedeihenden Pflanzen erleiden, zu begreifen.

Ich stelle hierhin drei Blumentöpfe, in denen sich Pflanzen befinden. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die Pflanzen in einem der drei Töpfe junge Erbsenpflanzen sind. Die Pflanzen in den beiden andern Töpfen erscheinen dagegen fremdartig; man wagt nicht, eine Bestimmung so geschwind vorzunehmen. Und gleichwohl kann ich versichern, dass auch diese Pflanzen aus Erbsensamen erwachsen sind, nur unter etwas anderen Bedingungen. Die langgestreckten, völlig bleichen Pflanzen mit den äusserst kleinen Blättern in dem einen Topf hier sind bei völligem Lichtabschluss, die fast ebenso gestalteten, aber grünen Pflanzen in dem anderen Topfe bei sehr geringer Lichtintensität in dem vom Fenster abgelegenen Raume eines Zimmers erwachsen. Die Samen in allen drei Töpfen wurden vor 4 Wochen gleichzeitig eingelegt in die gleiche Erde; die jungen Keimpflanzen hatten in allen drei Töpfen die gleiche Nahrung, die gleiche Luft, den gleichen Raum für Entfaltung ihrer Organe zur Verfügung, und dennoch sehen wir heute ein so verschiedenes Resultat vor uns, dass wir kaum wagen, die so verschieden aussehenden Pflanzen als ein und dieselbe Spezies in ein und demselben Vegetationsstadium anzuerkennen.

Die verschiedenen Mengen von Licht, die in den drei Fällen den Pflanzen zu Gebote standen, haben diese verschiedene Ausbildung bewirkt, und wir sind in der Lage, schon nach dem blossen Augenschein einiges über den Einfluss des Lichts

*) Über den Grund dieser Möglichkeit, im Schatten zu leben, kann erst später nach Erörterung der Atmungserscheinungen die Rede sein.

auf die Entwickelung der Pflanzen auszusagen. Zunächst fällt uns die weit gedrungenere, kurzgliederige und breitblätterige Gestaltung der im vollen Lichte gewachsenen Pflanzen im Vergleich mit den äusserst schlaffen, bloss in die Länge entwickelten Formen der bei geringer Lichtintensität oder vollkommener Dunkelheit erzogenen Pflanzen auf. Dabei sei bemerkt, dass die Längsstreckung nicht eine Folge der gehinderten Assimilation ist; denn sie erfolgt auch bei nicht grünen Pflanzen und Pflanzenteilen und tritt bei grünen Organen nicht ein, wenn man die Assimilation durch Fernehalten der Kohlensäure *) unmöglich macht. Sie ist vielmehr z. T. eine Folge der bei Abschluss des Lichts verminderten Verdunstung**), z. T. eine Folge anderer Wirkungen. Wir gehen hier auf die Erklärung der Erscheinung nicht weiter ein, sondern benutzen diese Gestaltsveränderungen der Pflanzen bei Abschluss des Lichts nur als Symptome für weit wichtigere Veränderungen in den Ernährungsverhältnissen, mit deren Betrachtung wir uns zu beschäftigen haben.

Neben dieser so merkwürdigen Gestaltsveränderung bei Ausschluss des Lichts erregt zunächst die verschiedene Färbung unsere Aufmerksamkeit. Es ist diese Beziehung in der That so auffallend, dass sie schon den ersten Bearbeitern des Gebietes der Pflanzenphysiologie geläufig war***). Die Pflanzen, die bei völligem Ausschluss von Licht erwachsen sind, zeigen von der gewöhnlichen grünen Farbe keine Spur; die sonst intensiv grün gefärbten Teile sind nur fahl gelblich, in anderen Fällen rötlich gefärbt. Das Chlorophyll hat in ihnen nicht zur völligen Entwickelung kommen können. Die Pflanzen, welche nur wenig Licht zu ihrer Verfügung hatten und infolgedessen nahezu die gleiche Formverzerrung zeigen wie die in vollkommener Finsternis erwachsenen, sind grün, wenn auch blassgrün, während die unter ganz natürlichen Verhältnissen erwachsenen Pflanzen auch ihre gewohnte sattgrüne Färbung zeigen. Wir sehen hieraus, dass zur Bildung des Chlorophylls, wie ich schon als Resultat dahin gerichteter Versuche mitgeteilt habe, ein sehr geringes Lichtquantum ausreichend gewesen ist, ein so geringes, dass an eine normale Gestaltung der Pflanzen nicht gedacht werden konnte.

Man pflegt die Pflanzen, die bei mehr oder weniger vollkommenem Ausschluss von Licht erwachsen sind und dabei die eben von uns beobachtete Gestaltsausbildung und fahlgelbe Färbung erlangt haben, als *etioliert oder bleichsüchtig*, mit einem mehr populären Namen auch wohl als *vergeilt* zu bezeichnen.

Ein weiterer Unterschied solcher etiolierten Pflanzen von den unter normalen Verhältnissen gewachsenen lässt sich indessen nicht durch blosse Anschauung konstatieren. Dazu bedarf es der Wage; und ein dahin gerichteter Versuch lässt sich nicht wohl in der Vorlesung anschaulich machen. Wir müssen daher das stets übereinstimmende Resultat desselben auf Treu und Glauben hinnehmen.

*) Godlewski: Flora 1873, p. 378.

**) Vergl. Reinke: Botan. Zeitung 1876, wo das durch Herabdrückung der Verdunstung vermehrte Wachstum experimentell erwiesen wird. Übrigens zeigen auch Keimlinge im Dunkeln unter Wasser gezogen (was natürlich nur bei reichlicher künstlicher Luftzufuhr möglich ist) etiolierte Formen, wodurch der direkte Einfluss des Lichts auf die Formbildung erwiesen ist.

***) Vergl. Bonnet: Untersuch. über den Nutzen der Blätter 1762, p. 124, 185 u. 224.

Wenn man nämlich die ursprünglich ausgelegten Samen genau wägt, ausserdem den Gehalt dieser Samen an organischer Substanz (durch Bestimmung des Wasser- und Aschengehalts in ganz gleichartigen Samen) bestimmt, was mit grosser Genauigkeit gelingt, und dann die aus solchen Samen erwachsenen Pflanzen von neuem einer solchen Bestimmung der organischen Substanz unterwirft, so gelangt man ausnahmslos zu dem Resultat, dass bloss die im Lichte erwachsenen Pflanzen einen Zuwachs an organischer Substanz zeigen, ihr Samengewicht vermehrt haben, dass dagegen alle etiolierten Pflanzen, denen während ihrer Entwickelung kein Licht zu Gebote stand, eine Verminderung ihres Samengewichts erlitten haben.

Es muss, um dieses Verhalten völlig zu verstehen, vorausgeschickt werden, dass, wie wir in späteren Vorlesungen sehen werden, alle lebenden Pflanzen ohne Ausnahme, sie mögen nun von unorganischen Pflanzen leben oder wegen mangelnden Chlorophyllorgans auf organische Nahrung angewiesen sein, zu jeder Zeit einen Prozess in sich unterhalten, durch den fortdauernd organische Substanz verloren geht, dass also die Pflanze, welche aus irgend einem Grunde an Assimilation von neuer organischer Substanz verhindert ist, nicht stillesteht, sondern notwendig rückwärts geht, genau wie das hungernde Tier.

Mit Berücksichtigung dieser Thatsache nun sind wir völlig in den Stand gesetzt, das vorhin angeführte Verhalten der Pflanze bei Lichtabschluss oder geringer Lichtintensität zu verstehen. Da es derselben aus zwei Gründen, einmal wegen Mangel des Chlorophylls, das sich nur im Lichte bildet, dann, auch wenn das produzierende Organ vorhanden wäre, wegen Mangel an der die chemische Arbeit vollziehenden Kraft unmöglich ist, organische Substanz in sich zu bilden, und durch jene anderen Prozesse, die sich in jeder lebenden Pflanze, wie überhaupt in jedem lebenden Organismus vollziehen, fortdauernd organische Substanz verloren geht, so muss die Pflanze fortdauernd abnehmen. Eine jede etiolierte Pflanze befindet sich also in einem wahren Hungerzustande, und nur der Umstand macht die Erscheinung etwas verwickelter, dass es bei derselben *gleichzeitig zwei Ursachen* sind, welche die Produktion von organischer Substanz verhindern. Natürlich ist auch eine völlig grüne und normal gebildete Pflanze, später ins Dunkle gebracht, unfähig, von diesem Zeitpunkte an ihre organische Substanz weiter zu vermehren trotz Vorhandenseins des anfangs noch ganz tauglichen Apparats, und ebenso eine etiolierte Pflanze, ans Licht gebracht, so lange noch untauglich, den Prozess der Produktion in sich zu vollziehen, bis sie ergrünt ist, bis die Chlorophyllkörner in normaler Weise ausgebildet sind.

Wir können aus dem Resultate der angestellten Betrachtungen nun mit Sicherheit schliessen, dass die Dauer des Lebens einer etiolierten Pflanze in enge Grenzen eingeschlossen ist. Dieselbe kann ebensowenig grössere Zeiträume hindurch existieren als das hungernde Tier, mit dem sie so treffend verglichen werden kann, und es wird bei der steten Abnahme, die sie erleidet, selbstredend von der Menge der ihr zur Verfügung stehenden organischen Substanz, also z. B. von der Grösse des ausgelegten Samens, abhängig sein, wie lange sie in einem solchen Zustande ausharren kann, genau so wie ein gut gemästetes Tier das Hungern länger verträgt als ein solches von schlechtem Ernährungszustande. Bei Tier und Pflanze kann aber in

einem solchen Falle selbstverständlich nicht die vorhandene organische Substanz bis zum letzten Atom aufgezehrt werden, sondern nur bis zu einer Erschöpfung der Organe auf ein gewisses Minimum, unter dem diese aufhören, leistungsfähig zu sein. Das verhungerte Tier und die im etiolierten Zustand gestorbene Pflanze enthalten immer noch Mengen von organischer Substanz, die einen erheblichen Bruchteil der ursprünglich vorhandenen ausmachen.

Auch die etiolierten Pflanzen, die hier vor uns stehen, sind dem Hungertode schon nahe und würden es im Dunkeln nur noch sehr kurze Zeit treiben; ihre Erschöpfung ist so gross, dass dieselben jetzt, selbst ins volle Licht gebracht, kaum noch die Fähigkeit haben würden, einzelne Blätter ergrünen zu lassen, und dann mittelst solcher unvollkommener Apparate kaum im stande sein würden, sich so viel organische Substanz täglich zu erzeugen, als sie in derselben Zeit zur Unterhaltung ihrer Lebensfunktionen verbrauchen.

Wir haben in der letzten Vorlesung schon einmal andeutungsweise von einem Zustande gesprochen, der mit dem etiolierten eine gewisse Ähnlichkeit hat und darum leicht mit demselben verwechselt werden kann. Ich meine den Zustand der Chlorose (der eintritt, wenn die Pflanze zur Ausbildung ihrer chlorophyllhaltigen Organe keine genügenden Mengen von Eisen vorfindet), für welchen auch der Mangel der grünen Farbe, die unvollständige Ausbildung der chlorophyllhaltigen Organe charakteristisch ist. Aber die Chlorose wird durch unvollständige Ernährung des betreffenden Organs, durch den Ausschluss gewisser Stoffe bewirkt, während der etiolierte Zustand eine ganz andere Ursache, das Fehlen des Lichts, hat. Deshalb unterscheiden sich die chlorotischen Pflanzen von den normalen äusserlich eben wesentlich nur durch Fehlen der grünen Farbe bei sonst ganz regelmässiger Ausbildung, während die etiolierten Pflanzen auch eine Reihe von anderen Charakteren, bewirkt durch den Mangel an Licht (dem, wie wir gesehen haben, auch Formbildung zukommt) zeigen, welche sie sehr wesentlich von normal gebildeten Pflanzen unterscheiden. Es sind deshalb beide Zustände wohl auseinanderzuhalten; nicht bloss die Ursachen beider Erscheinungen sind grundverschieden, sondern auch die äusseren Symptome dieser beiden Zustände bieten handgreifliche Differenzen dar.

Mit der Betrachtung der etiolierten Pflanze schliessen wir nun das Kapitel von der Einwirkung des Lichts auf die Ernährung der Pflanze. So vielfach noch die pflanzenphysiologischen Wirkungen des Lichts sein mögen, so wichtig für alle diejenigen, welche Botanik und Pflanzenphysiologie als Selbstzweck treiben, das Studium der Wirkungen des Lichts auf Formbildung, Gewebestreckung u. s. w. erscheint, so ist doch mit der Betrachtung der Beziehungen, in welchen das Licht zu der Produktion von organischer Substanz und zur Herstellung des Apparats, in dem sich diese Produktion vollzieht, steht, die ganze Bedeutung, welche diese Kraftform und deren Wirkungen unmittelbar für den Ernährungsprozess der Pflanzen haben, erschöpft.

Die bis jetzt auf dem von uns zurückgelegten Wege erlangten Resultate befähigen uns aber zu einigen Betrachtungen etwas allgemeinerer Natur, bei denen einige Augenblicke nach gehabter Mühe zu rasten, uns nicht versagt bleiben mag, ehe wir den Anlauf nehmen, um uns durch die Thatsachen eines neuen Kapitels hindurchzuarbeiten. Diese allgemeineren Betrachtungen betreffen die Rolle, welche die

chlorophyllhaltige Zelle und die Vorgänge, die in derselben vollzogen werden, in dem „Haushalte der Natur“ spielen.

Wir haben schon in den ersten beiden Vorlesungen gelernt und seitdem unzählige Male wiederholt, dass bei der Arbeit, die sich unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, Kohlensäure verbraucht und Sauerstoff entbunden wird. Man kann sich im allgemeinen, ohne auf die berührten Abweichungen hier nochmals zurückzukommen, so ausdrücken, dass hierbei der Kohlenstoff der Kohlensäure fixiert wird, sich mit Wasser verbindet und also dabei der Sauerstoff der Kohlensäure frei gemacht wird. Es kann zugleich hinzugesetzt werden, dass dies der *vorwiegende* Prozess in der grünen Pflanzenwelt ist; denn obgleich alle nicht chlorophyllhaltigen Teile derselben, also Wurzeln, Blüten u. s. w., ferner diese Pflanzen in denjenigen Entwickelungsstadien, in welchen sie noch keine chlorophyllhaltigen Organe besitzen (als Keimlinge und als blätterlose Stämme im Winter der kälteren, in der Trockenperiode der wärmeren Zonen) und ebenso die ganze dunkle Nacht hindurch unfähig sind, diesen Reduktionsprozess zu vollziehen, im Gegenteil unter diesen Umständen der Oxydationsprozess, der die organische Substanz wieder zerstört, mehr oder minder in den Vordergrund tritt, so bleibt als Endresultat des Lebens aller grünen Pflanzen doch stets eine grössere oder kleinere Menge organischer Substanz übrig, auf Kosten deren alle die vielen chlorophyllfreien Geschöpfe (Pilze, Tiere etc.) ihr Dasein fristen, auf Kosten deren endlich eine sehr grosse Anzahl von Verwesungsprozessen, Verbrennungserscheinungen ausserhalb von Organismen vor sich geht. Erwägt man dies, so kann mit Sicherheit geschlossen werden (ohne dass man die durchschnittliche Intensität jener beiden in entgegengesetzter Richtung arbeitenden Prozesse irgend einer Messung unterzieht), dass der von uns in diesen ersten Vorlesungen beleuchtete Vorgang der weitaus vorwiegende für die grüne Pflanzenwelt sein muss, dem gegenüber wir jenen anderen, noch nicht näher betrachteten einstweilen vernachlässigen konnten, wie er denn in der That selbst von der Wissenschaft lange Jahre hindurch übersehen worden ist.

Diesem Prozess der Kohlensäurezerlegung, wobei der Kohlenstoff fixiert, der Sauerstoff in Gasform ausgeschieden wird, hält nun offenbar in der Natur jener umgekehrte Prozess, der sich in der organischen Welt mit höchster Intensität in der Atmung der Tiere, aber auch, wie gesagt, bei jedem anderen Organismus vollzieht, einigermaassen das Gleichgewicht. Die Tiere und die chlorophylllosen Organismen (die sich in den Hauptzügen ihrer Ernährung an die Tiere anschliessen) setzen den in der organischen Substanz fixierten Kohlenstoff wieder in Freiheit, indem sie ihn wieder mit dem Sauerstoff der Atmosphäre verbinden und Kohlensäure bilden; und so arbeiten sich beide Reiche (wenn man die Organismen mehr nach ihrer Ernährung als nach ihrer Formverschiedenheit einteilt) gewissermaassen einander in die Hände. Das ausgeschiedene Gas der grünen Pflanzen ist die reinste Lebensluft für die Tiere und die verdorbene Luft, welche diese ausgeben, ist der zur Bildung von organischer Substanz für die Pflanzen unentbehrliche Nährstoff. Kurz, bei Betrachtung dieses Verhaltens gestaltet sich vor unseren Augen das Bild von der gegenseitigen Abhängigkeit von Tier- und Pflanzenwelt und von dem Kreislauf des Kohlenstoffs, jener vielbehandelte Gegenstand populärer Darstellungen.

Dieses Bild ist nun zwar als eine der hervorragenden Errungenschaften der vereinigten Naturwissenschaften grossartig und schön; allein es haben sich häufig bei Zeichnung desselben Ungenauigkeiten eingeschlichen, über die ich einige Bemerkungen nicht unterdrücken kann. Man wollte nämlich — wohl von dem, unsere naturwissenschaftlichen Methoden noch so häufig störenden, teleologischen Gesichtspunkte ausgehend — auf jenen entgegengesetzten Gasaustausch, den beide Reiche im grossen und ganzen unterhalten, den Satz gründen, dass je ein Reich als wirksamer Regulator für die Ausdehnung des anderen (durch Anhäufung seiner Existenzbedingungen) wirke und somit beide in ihrer gemeinschaftlichen Thätigkeit zur Erhaltung der bestehenden Zusammensetzung der Atmosphären dienen müssten*). Man dachte sich z. B., dass, wenn durch irgend eine Ursache das Tierreich überhand nehmen sollte, dann weit mehr organische Substanz „veratmet“, in der tierischen Lunge verbrannt werden, weit mehr Kohlensäure, eine Hauptbedingung des entgegengesetzten Prozesses, in der chlorophyllhaltigen Zelle entstehen müsse, und dass auf die Weise einer weiteren und üppigeren Entfaltung des Pflanzenwachstums Vorschub geleistet werde. Man dachte sich, dass umgekehrt, bei zu grosser Überhandnahme der Pflanzenwelt, der Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure erschöpft, auf diese Weise das weitere Gedeihen dieser Organismen in Frage gestellt, dagegen durch Erzeugung von sehr viel organischer Substanz die Zunahme des Tierreichs begünstigt werde u. s. w. Durch diese Anschauungsweise sollte dann gezeigt werden, dass der Gehalt der Atmosphäre an Sauerstoff und Kohlensäure, den jedes Reich für sich genommen durch seine Lebensweise abzuändern bestrebt ist, keiner wesentlichen Änderung**) fähig sei, sondern vollständig reguliert werde.

Dieser Schluss kann indessen nicht als völlig zulässig angesehen werden; denn obgleich die Tierwelt oder strenger die Welt der chlorophylllosen Organismen in engen Grenzen abhängig ist von der Menge der grünen Pflanzen, indem sie nur von diesen ihre Nahrung, die organische Substanz, empfangen und auf keinem andern Wege erlangen können, und man also im allgemeinen zugeben kann, dass eine Vermehrung der Pflanzenwelt, durch welche der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre bedroht wird, auch eine Vermehrung der Tierwelt veranlasst, so ist doch die umgekehrte Abhängigkeit in irgend zureichendem Grade kaum anzunehmen, da durch Überhandnehmen der Tierwelt und der Verbrennungs- und Verwesungsprozesse nur eine der Vegetationsbedingungen der Pflanzen, die Kohlensäure, vermehrt wird, und die Produktion von organischer Substanz eben nicht einfach proportional der vorhandenen Kohlensäure, sondern ebenso abhängig ist vom Sonnenlichte, das zur Verfügung steht, und indirekt von allen andern von uns noch nicht behandelten Vegetationsbedingungen und so in gewisse Grenzen eingeschlossen ist.

*) Dass Berechnungen, wonach beide Prozesse in dieser Hinsicht einander genau das Gleichgewicht halten sollen, auf einer leeren Spiegelfechterei beruhen, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden. Wer will die durch Verwesungsprozesse erzeugte Kohlensäure auch nur auf grobe Bruchteile annähernd schätzen? — und doch giebt die so erhaltene Zahl fast allein den Ausschlag!

**) Vergl. z. B. Liebig: Die Chemie i. i. Anw. auf Agrik. u. Phys. 1862, I, p. 22.

Allein selbst dies bei Seite gelassen, bleibt noch zu bedenken, dass die Zunahme der Verbrennungsprozesse (in jenem allgemeinsten Sinne des Worts) gar nicht enge abhängig ist von der Ausdehnung der Pflanzenwelt und der von dieser in einer gewissen Zeit produzierten organischen Substanz — und zwar wegen der Möglichkeit der Ablagerung produzierter organischer Substanz als fossile Brennmaterialien.

Es ist also trotz einer weitgehenden Abhängigkeit beider Reiche voneinander in den angedeuteten Verhältnissen doch nicht ein so vollkommenes Regulativ zu erblicken, dass nicht Änderungen in dem relativen Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt der Atmosphäre eintreten könnten; und dass solche Änderungen nicht sofort oder nach ein paar Jahrzehnten durch die Analyse nachgewiesen werden können, hat sich längst durch Berechnung herausgestellt. Es mag nun allerdings wahrscheinlich sein, dass wir uns zur Zeit in einer Art von Gleichgewichtszustand befinden, dass Kohlensäureverbrauch und Kohlensäureproduktion mit nahezu gleicher Intensität von statten gehen; aber denken wir uns plötzlich durch Verbrennung sämtlicher fossiler Brennmaterialien den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre etwas vergrössert, so lässt sich durchaus nicht behaupten, dass infolge davon die Pflanzenwelt ein so viel rapideres Wachstum zeigen werde, so dass dadurch dieses Plus an Kohlensäure wieder rasch verbraucht sein werde, und ebenso kann die Pflanzenwelt durch irgend welche zufällige Ursache veranlasst werden, anstatt organische Substanz zum Vorteil der Tierwelt zu schaffen, wieder einmal solche in grösserem Maassstabe als fossile Brennstoffe abzulagern, wodurch dann die Atmosphäre dauernd kohlensäureärmer werden müsste. Kurz, diese Möglichkeit der Ablagerung organischer Stoffe in der Erde, wodurch ein Teil des Kohlenstoffs sich lange Perioden hindurch vom geschilderten Kreislauf ausschliesst und die als Thatsache nicht geleugnet werden kann, lässt es annehmbar erscheinen, dass ein gewisser Gleichgewichtszustand zwischen Kohlensäureproduktion und Verbrauch bei sehr verschiedenem Kohlensäuregehalt der Atmosphäre eintreten kann.

Ich habe diese scheinbar etwas weit von unserem eigentlichen Thema abliegende Betrachtung deshalb hier nicht unterdrücken wollen, weil ich zeigen möchte, wie gefährlich es ist, alle naturwissenschaftlichen Thatsachen vom Standpunkt der Nützlichkeit ausgehend zu schätzen. Wir haben die Daten unserer Erkenntnis nüchtern zu registrieren, daraus alle möglichen zulässigen Konsequenzen zu ziehen, gleichviel, wohin sie uns führen; aber wir müssen die fromme Meinung, dass alles in der Welt vortrefflich eingerichtet sei, als *Forschungsprinzip* gänzlich unbeachtet lassen, denn sonst geraten wir schliesslich auf den naiven Standpunkt des Schulmeisters, der seinen Kindern lehrte, die Weisheit des Schöpfers zu bewundern, welcher den tierischen Körper so zweckmässig eingerichtet habe, dass genau an der Stelle Löcher im Felle angebracht seien, worunter sich die Augen befänden*).

Wir sind durch unsere erlangte Erkenntnis von der Funktion der chlorophyllhaltigen Zelle noch zu Betrachtungen von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus

*) Ein sonst verdienstvoller landwirtschaftlicher Schriftsteller, Krutzsch, preist in der That in seinem Werke: Bodenkunde 1847, p. 170, die allwaltende Weisheit, dass sie den Sauerstoff dem Stickstoff der Atmosphäre bloss zugemengt, nicht mit demselben chemisch verbunden habe, da jener sonst nicht geatmet werden könnte.

befähigt. Ich erinnere daran, dass bei dem Vorgang, der sich in der chlorophyllhaltigen Zelle vollzieht, ein Übergang von Kraft in eine andere Form stattfindet. Wir haben dies früher so ausgedrückt, dass wir sagten, es gehe bei diesem Vorgang die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen über in chemische Spannkraft, und so sammle sich durch die Erzeugung von organischer Substanz ein Kraftvorrat an, der später je nach dem Apparat, in dem man die Verbrennung dieser organischen Substanz vor sich gehen lasse, als Wärme oder als mechanische Bewegung ausgegeben werden könne. Aus diesem Verhalten ergiebt sich nun vielleicht die wichtigste Rolle, welche die chlorophyllhaltige Zelle im Haushalte der Natur oder besser für *den zu wirtschaftlichen Zwecken zur Verfügung stehenden Kraftvorrat* spielt. Wir haben auf das zu schildernde Verhältnis schon in der zweiten Vorlesung kurz hingedeutet, können es uns aber nicht versagen, jetzt, wo wir eine genauere Vorstellung gewonnen haben von dem fraglichen Übergang, noch einmal etwas ausführlicher auf denselben Gegenstand zurückzukommen.

Es muss vor allem darauf aufmerksam gemacht werden, in welch hohem Grade wir in unserem wirtschaftlichen Leben von den mechanischen Arbeitskräften abhängig sind, über die wir verfügen können. Wir brauchen uns nur zu überlegen, dass die Maschinenarbeit in manchen Ländern das Vielfache leistet von dem, was durch die Arbeit der dieselben bewohnenden Menschen geleistet wird. Zweifellos haben wir weitaus den grössten Teil des wirtschaftlichen Aufschwungs unseres Jahrhunderts dem Umstand zu danken, dass das letzte Jahrhundert uns gelehrt hat, Menschenarbeit, die früher nur in sehr viel unvollkommenerem Grade durch die Arbeit der Tiere substituiert werden konnte, durch Arbeit von Dampfmaschinen zu ersetzen. Alle diese mechanischen Arbeiten, die eine so bedeutende Rolle bei der Produktion unserer wirtschaftlichen Güter spielen, erfordern einen *Vorrat an Energie* in einem gewissen Zustand, in einem solchen, wo er in mechanische Bewegung übergehen kann, und wir haben schon in einer früheren Vorlesung gesehen, dass nicht eine jede Kraftform diesen Übergang zu machen im stande ist. Die Wärme war, wie wir uns erinnern, nur unter gewissen Bedingungen zu einem solchen Übergang, der von so hoher wirtschaftlicher Bedeutung ist, befähigt; und diese Bedingung war, dass sie als Temperaturüberschuss über einen benachbarten Körper vorhanden sei. Es ist folglich von einem gewissen wirtschaftlichen Interesse, die einzelnen Formen von Energie, die sich uns auf der Oberfläche des von uns bewohnten Planeten darbieten, auf die Möglichkeit zu untersuchen, sie in mechanische Bewegung umzuwandeln.

Die Wärme unserer Erde muss, als in einem ungeeigneten Zustande den fraglichen Zwecken gegenüber befindlich, ganz ausser acht gelassen werden. Alle übrige Kraft, die wir besitzen, stammt von der Sonne*) und ist aus dem grossen Temperaturunterschied, der zwischen Sonne und Erde besteht, abzuleiten. Diese Kraft, die

*) Auch hier muss ich an die übrigens unwesentlichen Kräfte erinnern, die wie z. B. die lebendige Kraft der Bewegung von Ebbe und Flut von der Umdrehungsbewegung von Mond und Erde abzuleiten sind, und einige andere geringfügigen, früher erwähnten Kräfte, deren Wirksamkeit der vollen Richtigkeit des ausgesprochenen Satzes entgegensteht. Vergl. über den ganzen Gegenstand meinen Vortrag: Die Quellen der wirtschaftlichen Arbeit in der Natur. Heidelberg 1875.

in Form von Sonnenstrahlen zu uns gelangt, kann dreierlei bewirken, entweder Erwärmung, und ist dann in ungeeigneter Form zum Übergang in mechanische Bewegung vorhanden, oder äussere Arbeit, oder drittens innere Arbeit (chemische Arbeit) und kann in diesen beiden letzten Fällen zu mechanischer Bewegung, zu wirtschaftlichen Zwecken benutzt werden. Aber diese beiden Fälle sind von sehr verschiedener Bedeutung.

Von äusseren Arbeiten leisten die Sonnenstrahlen nur, was als Bewegung von Luft und Wasser sich darstellt oder auf diese sich zurückführen lässt, und wir wissen, dass die wirtschaftliche Ausbeutung dieser Strahlen aus einer Reihe von Gründen, die hier nicht erörtert werden können, sehr gering ist und bleiben muss.

Eine um so grössere Rolle spielen die Kraftmengen, die zunächst chemische Arbeit vollziehen, in unserem wirtschaftlichen Leben, namentlich seit der Zeit, wo wir gelernt haben, diese Kräfte auch ausserhalb von Tier und Mensch zur mechanischen Arbeitsleistung zu benutzen, und es erhellt sogleich die immense Bedeutung, die die chlorophyllhaltige Zelle für den Kreislauf der Kräfte und unser wirtschaftliches Leben hat, wenn wir bedenken, dass *alle chemische Arbeit,* die nachher solchen mechanischen Bewegungserscheinungen zu gute kommt, lediglich in jenem kleinen Apparat geleistet, dass lediglich in Form von organischer Substanz, die daselbst ihre Entstehung nimmt, jene ungeheuren Mengen von Energie, die wir als Menschen- und Tierarbeit oder als Arbeit der Dampfmaschinen und kalorischen, ja selbst der elektrischen Maschinen auftreten sehen, gesammelt werden.

Während also nur Wind- und Wassermühlen jene Kraft zu wirtschaftlichen Zwecken ausnutzen, die in Form einer äusseren Arbeit ursprünglich deponiert worden ist, lassen sich alle die vielen anderen Bewegungserscheinungen, die durch Verbrennungsprozesse innerhalb und ausserhalb von Organismen eingeleitet werden, auf die chemische Arbeit, welche die Sonnenstrahlen in der chlorophyllhaltigen Zelle geleistet haben, sei es nun in der Gegenwart oder in einer längst entschwundenen geologischen Epoche, in der die fossilen Brennmaterialien gebildet worden sind, zurückführen. Diese fossilen Brennstoffe sind eine Hinterlassenschaft von Kräften aus alten Zeiten, wo noch keine Nachfrage nach ihnen bestand, gleichsam aufgespeichertes Kapital von Energie in einer Form, in der ihrer Verwendung zur Hervorrufung von äusseren Bewegungserscheinungen kein Hindernis im Wege liegt.

Bei dieser Gelegenheit halte ich mich auch für verpflichtet, darauf hinzuweisen, wie schwer es sein möchte, die ganz einzige Rolle, welche die grüne Zelle in unserem ökonomischen Leben spielt, durch irgend einen künstlichen Prozess zu ersetzen. Man hat sich freilich in der Chemie durch kunstreiche Synthesen einem Punkte genähert, dass man vor der Erzeugung der hauptsächlichsten organischen Stoffe, welche die Nahrungsmittel von Tier und Mensch zusammensetzen, in erster Linie der Kohlenhydrate, nicht mehr zurückschreckt, und bereits haben optimistisch gesinnte Gelehrte in glänzenden öffentlichen Reden der Menschheit in Aussicht gestellt*), dass die Brotfrage binnen kurzem auf diese Weise gelöst sein dürfte. Aber man hat bei der

*) F. Cohn: Naturforscher-Versammlung, Berlin 1886; und Victor Meyer: bei derselben Gelegenheit, Heidelberg 1889.

Eröffnung solcher glänzenden Perspektiven ein wenig zwei Dinge ausser acht gelassen, erstens dass beinahe alle modernen chemischen Synthesen doch noch im Verhältnis zu der Pflanzenproduktion sehr kostbar sind, so dass sie mit dieser nur da konkurrieren können, wo es sich wie bei den Farbstoffen um Substanzen handelt, die im Organismus entweder gar nicht oder nur in sehr kleinen Mengen auftreten, und zweitens dass die künstliche Darstellung ihren Ausgang zu nehmen pflegt von der Steinkohle, also eben von jenem aufgespeicherten Vorrat von Produkten des Pflanzenlebens aus früheren geologischen Epochen, welcher der Natur der Sache nach in einigen Jahrhunderten aufgebraucht sein dürfte. Wegen des ersten Umstandes schon erscheint die sich eröffnende Aussicht entschieden als Zukunftsmusik; wegen der zweiten Komplikation ist gerade die spätere Zeit, wo sich die Menschheit mit der jährlichen Rente an zur Verfügung stehender Sonnenarbeit zufrieden geben muss, am allerwenigsten rosenfarbig und so ist alles in allem genommen die fragliche Perspektive als eine notorische Schönfärberei und zwar als eine von kapitalistischem Beigeschmack von seiten der redlich denkenden Volksfreunde mit Entschiedenheit zurückzuweisen.

Etwas anderes ist die Frage, ob nicht rentablere Verwendungsarten der uns von der Sonne zur Verfügung stehenden Energie als durch das Pflanzenleben gefunden werden könnten. Hier ist, wenn man diese Menge schätzt im Vergleich zu dem, was wir in der Form von organischer Substanz in den Ernten sammeln, noch ein reiches Feld für weltumwälzende Entdeckungen; aber was bisher auf diesem Gebiete, z. B. durch die Darstellung von sogenannten Sonnenmaschinen*) in Algier geleistet worden, ist noch nicht gerade sehr ermutigend.

Zum Schlusse dieser Vorlesung möchte ich schon jetzt vor einem Irrtum warnen, der sich nach dem bisher Mitgeteilten leicht einstellen könnte und der, so klein er auch erscheinen mag, doch nicht bestehen bleiben darf. Es ist dies die naheliegende Meinung, dass alle grünen Pflanzen, die durch den Chlorophyllapparat zur Produktion von organischer Substanz befähigt sind, nun unter keinen Umständen schon vorgebildete organische Substanz von aussen in sich aufnähmen und zu eigenem Nutz und Frommen in sich verarbeiteten. Man sagte sich, in dem natürlichen Drang die Erscheinungen der Aussenwelt unter möglichst einfache Gesichtspunkte zu bringen, was die Pflanzen sich selbst bereiten können, brauchen sie nicht von aussen zu beziehen, und man hat also auch wieder in diesem Fall der Natur gleichsam *zweckmässige* Absichten untergeschoben — ein Prinzip, das wir schon vorhin als unfruchtbar und gefährlich für die Naturforschung bezeichnet haben.

Bedenken wir — und diese Anschauung können wir jener anderen gegenüberstellen —, dass es doch manchmal für viele Pflanzen nützlich sein kann, wenn das Geschäft der eigenen Produktion (aus Mangel an Licht, wegen noch ungenügender Ausbildung des Chlorophyllorgans etc.) noch etwas stille liegt, von der Einfuhr von

*) Maschinen, die mit Hilfe der durch grosse Brenngläser konzentrierten Sonnenwärme Dampf und dadurch Betriebskraft für mechanische Arbeit erzeugen, wobei also wenigstens vorläufig mit dem Wirkungswerte der durch Pflanzen erzeugten Brennmaterialien konkurriert wird. Mit der Zeit würde man vielleicht dergleichen Maschinen auch mit Hilfe der Errungenschaften der modernen Chemie zur Erzeugung von Nahrungsstoffen benutzen können.

aussen nicht völlig abgeschnitten zu sein und von dort her organische Substanz zu beziehen, so werden wir uns auch zu dem entgegengesetzten Vorurteil bequemen und uns für die Meinung entscheiden können, dass eine solche Aufnahme der fertigen organischen Substanz denn doch möglich sei.

Allein prüfen wir in diesem Falle, wo uns alle theoretische Herleitung wieder einmal im Stiche lässt, die Thatsachen, in denen eine Beantwortung für die vorliegende Frage zu suchen ist.

Ich möchte hierbei zunächst auf die mehrmals in Vergessenheit geratene Thatsache aufmerksam machen, dass es den höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen ganz nahe verwandte Pflanzen giebt, die jenen in ihrer Form, ihrem Entwickelungsgang und ihrer Blütenbildung aufs Haar gleichen, dennoch aber *chlorophylllos* sind. Der morphologische Charakter der Organismen ist oftmals dem Charakter gewisser physiologischer Grunderscheinungen geradezu entgegenlaufend, so dass das Einteilungsprinzip des klassifizierenden Botanikers und Zoologen, welches wesentlich sich auf die morphologischen und entwicklungsgeschichtlichen Gleichartigkeiten stützt, häufig mit dem des Physiologen in Widerstreit gerät. Um ein Beispiel zu geben, will ich darauf hinweisen, dass der Physiologe, der auf das morphologische Einteilungsprinzip ganz und gar keine Rücksicht nähme, leicht dahin gelangen könnte, die Tiere in fleisch- und pflanzenfressende abzuteilen (obwohl dies im Grunde genommen kein sehr gewichtiger Ernährungsunterschied ist), wodurch offenbar die alte systematische Ordnung ganz auf den Kopf gestellt würde.

So enthält auch unser morphologisch so wohl begründetes botanisches System Abteilungen, in denen physiologisch sehr ungleichwertige Pflanzen dicht nebeneinander stehen, — eine Thatsache, welche der Agrikulturchemiker*) sehr leicht vergisst. Das eben Gesagte gilt gerade für jenen durchgreifenden Ernährungsunterschied, den Mangel oder das Vorhandensein der Fähigkeit, organische Substanz zu produzieren, und wir finden, wie gesagt, bei den allerhöchstorganisierten Pflanzen Familien, deren Gattungen oder Arten teilweise chlorophyllhaltig sind, teilweise des Chlorophylls und damit der Befähigung zur Produktion von organischer Substanz entbehren oder welche nur Spuren dieses Bestandteils und dieser Befähigung besitzen. So giebt es den chlorophyllhaltigen Rhinanthaceen und Antirrhineen sehr nahe verwandte Pflanzen wie Lathraea, die chlorophylllos sind. Auch die manchen unserer Kulturgewächse so schädlichen Schmarotzer, die Orobanche-Arten, sind, obgleich den eben genannten Familien sehr nahe stehend, also nicht gar zu ferne verwandt mit den bekannten Pflanzen, Fingerhut und Löwenmaul, chlorophylllos. Die berüchtigte Kleeseide Cuscuta, welche die Holländer „des Teufels Nähgarn“ nennen, ist sogar den Convolvulaceen direkt zugehörig und infolgedessen nahe verwandt mit der gemeinen Ackerwinde. Die Familie der Orchideen enthält neben der meist

*) Man hört gerade von den Agrikulturchemikern sehr häufig, in Ausseracbtlassung der Nichtkoïnzidenz der morphologischen und physiologischen Einteilung der Organismen, auch an Orten, wo eine schärfere Bezeichnung durchaus not thäte, von der Pflanzenwelt — als der Kohlensäure aufnehmenden und Sauerstoff ausgebenden sprechen. Es giebt diese unpräzise Ausdrucksweise vorzugsweise bei den Lernenden Anlass zu Irrtümern, die wieder auszurotten viele Mühe kostet.

chlorophyllhaltigen Gattung Orchis, nach der sie ihren Namen empfangen, Gattungen wie Corallorhiza und Neottia, die frei von Chlorophyll sind. Dahin gehört ferner der Fichtenspargel, Monotropa, den Ericaceen verwandt etc.

Alle diese chlorophyllfreien Gattungen der höheren Pflanzenfamilien sind selbstredend darauf angewiesen, genau wie Tiere und Pilze von schon gebildeter organischer Substanz ihr Leben zu fristen*). Zum Teil sind sie wirkliche Schmarotzer, d. h. sie bewohnen noch lebende Pflanzen, diesen ihre Nahrung entziehend, wie Orobanche, Cuscuta, daher sie die grössten Feinde des Landwirtes sind**); zum Teil leben sie, wie man annimmt, auf Kosten von nicht mehr Organismen angehörigen organischen Substanzen, welche in Zersetzung begriffen sind, und werden dann wohl Humusbewohner genannt, wie Monotropa, Neottia nidus avis***) etc. Die eine oder die andere Art der Stoffaufnahme ist für uns kein wesentlicher Unterschied, und alle jene Pflanzen können (wie im Grunde die chlorophylllosen Organismen samt und sonders) *als Schmarotzer im weitesten Sinne des Worts* aufgefasst werden.

Diese Thatsachen nun sind darum für uns von Wichtigkeit, weil durch die Darwin'sche Deszendenzhypothese jede früher nur figürlich sogenannte Verwandtschaft in Wahrheit Blutsverwandtschaft bedeutet, also zwei nahestehende Gewächse vor einer gewissen Zeit von einem und demselben Organismus abgestammt sein müssen. Es würden z. B. die Kleeseide und die Ackerwinde von einer gemeinschaftlichen Mutterpflanze herkommen, welche nur — entweder chlorophyllfrei oder chlorophyllhaltig (das letztere ist sehr viel wahrscheinlicher) — gewesen sein kann. In dem ersteren Falle hat sich aus einem nicht produktiven, zur Aufnahme von Organischem gezwungenen Gewächs die blattgrünreiche Winde entwickelt, im anderen Falle die Kleeseide durch einen rückläufigen Entwickelungsprozess das Blattgrün bis auf einen sehr kleinen, vielleicht noch vorhandenen, aber praktisch nicht belangreichen Rest eingebüsst. In jedem Falle ist aber ein Zeitpunkt vorhanden, in welchem neben einem gewissen Chlorophyllgehalt eine gewisse Befähigung, organische Stoffe von aussen aufzunehmen, in derselben Pflanze vorhanden war, etwas, das wir zu konstatieren für wichtig halten müssen.

Aber noch mehr. Nicht nur den höheren chlorophyllhaltigen Gewächsen so nahe verwandte Arten haben notwendig die Befähigung, organische Substanzen ganz regelmässig zu assimilieren, und nicht allein durch Folgerungen auf Grund der Deszendenzhypothese können wir beweisen, was wir beweisen wollen, sondern einige

*) Vergl. über diesen Gegenstand: Annal. d. sc. nat. T. 6, p. 29; — T. 7, p. 127; — T. 8, p. 5. u. 158. Spuren von Chlorophyll sind bei mehreren der genannten Arten gefunden worden, was übrigens nur ein helleres Licht auf ihre Abstammung wirft, ohne ihrem im Texte geschilderten physiologischen Charakter Eintrag zu thun.

**) Die Prüfung auf Kleeseide ist darum bei der Samenkontrolle von so viel grösserer Wichtigkeit als das Konstatieren sonstiger Unkräuter.

***) Über einen zweifelhaften Gehalt dieser letzteren Pflanze an Chlorophyll: Compt. rend. 1873, Juni 23. Ob diese sogenannten Humusbewohner oder Saprophyten unter den Phanerogamen nicht doch schmarotzen auf lebenden Pflanzenwurzeln, wie dies für Monotropa (auf Koniferenwurzeln) sehr auffällig ist, wäre erst noch des näheren zu untersuchen. Auch die Komplikationen ihrer Ernährung durch etwaige Mycorhizapilze erheischen ein näheres Studium.

jener Pflanzen zeigen im ersten Jahre ihrer Entwickelung keinen Chlorophyllgehalt, wohl aber im zweiten und in den folgenden Jahren, sind daher in dem ersten Jahre (da ihnen nicht etwa ein entsprechender Reservestoffbehälter zu Gebote steht) auf die Assimilation organischer Nahrung angewiesen, obwohl sie im zweiten Jahre diese selbst zu bilden im stande sind. Als hierhergehörige Pflanzen werden einige Orchis-Arten genannt.

Wir würden verpflichtet sein, diese letzteren Behauptungen einer sorgfältigen Kritik zu unterziehen, wenn nicht die ganz feststehende Thatsache, dass manche chlorophyllhaltige Pflanzen, wie die Mistel (Viscum album) und einige Rhinanthaceen (Melampyrum*) trotz der ihnen zukommenden Fähigkeit, organische Substanzen zu produzieren, auf das Schmarotzen angewiesen sind, noch viel beredter sprächen**). Diese Pflanzen gedeihen nur, wenn sie Gelegenheit finden, ihre meistens in sogenannte Haustorien veränderten Wurzelorgane in eine Nährpflanze einzusenken, und offenbar nur deshalb, weil es für sie vorteilhaft ist, neben der selbst gebildeten organischen Substanz auch solche aus ihrem Wirte in sich aufzunehmen.

Kurz, es scheint nach dem Angeführten nicht mehr bezweifelt werden zu können, dass etwas Gemeingültiges über die Aufnahme oder Nichtaufnahme organischer Stoffe durch die chlorophyllhaltigen Pflanzen nicht ausgesagt werden kann, wenn auch die spezifische Wurzelorganisation, die ja bei den Schmarotzern von Profession eine ganz eigentümliche ist***), deutliche Fingerzeige gewährt. Viele grüne Pflanzen können, wie aus zahlreichen Kulturversuchen hervorgeht, in normaler Weise vollständig gedeihen bei rein anorganischer Nahrung, andere von ihnen haben zu ihrem Gedeihen nachgewiesenermaassen einen an organischen Substanzen reichen Boden notwendig. Eine prinzipielle Scheidung aber kann hier nicht vorgenommen werden. Warum sollten nicht Pflanzen sein, die von dem einen oder anderen Vorteil genössen?

Wichtig in der gleichen Richtung sind noch van Tieghem's interessante Resultate über Assimilation organischer Nahrung durch Keimpflänzchen, obschon die Sachlage in diesem Falle insofern eine andere ist, als hier nicht die Wurzel der Keimlinge, sondern das Schildchen das die organische Nahrung aufsaugende Organ ist. Der genannte Forscher zeigte nämlich, dass die Funktion des in seiner Organisation intakten Albumens bei der Keimung bis auf einen gewissen Grad vertreten werden könne durch ein zerriebenes Albumen, was nur mit dem Embryo in unmittelbarer Berührung ist, und auch durch Stärkemehlbrei, dem zweckmässig einige mineralischen Pflanzennährstoffe zugesetzt werden†). Die Stärkekörner werden dabei korrodiert und offenbar in Lösung dem Keimling als verwertbare Nahrung zugeführt. Die Aufnahme von solcher organischen Nahrung ist also auch für diese besonderen Verhältnisse erwiesen und wir

*) Welches wenigstens durch die Verwachsung seiner Wurzeln mit denen anderer Pflanzen grossen Vorteil zieht. Vergl. auch Höveler: Pringsh. Jahrb. 28, p. 283.

**) Auch niedrige chlorophyllführende Organismen (Algen) können gelegentlich mit organischer Nahrung vorliebnehmen. Vergl. Beyerinck: Voordracht voor het Prov. Utrechtsch Genootschap 1889 u. botan. Zeitung 1890, Nr. 45—48.

***) Vergl. die Monographie von L. Koch über Cuscuta: Heidelberg 1876.

†) Vergl. Ann. d. sc. nat. T. 17, p. 205; Versuchspflanze Mirabilis.

sehen zugleich aus diesem scheinbar fern gesuchten Beispiele, dem sich ja auch noch die Aufnahme von Zucker und ähnlichen Stoffen*) durch Blätter anreihen liesse, dass die spezielle Frage der Aufnahme von organischer Nahrung seitens einer bestimmten Pflanze wesentlich eine Frage der spezifischen Wurzelorganisation derselben ist.

Im Gegensatze zu diesen Ausführungen muss aber dann mit ebenso viel Entschiedenheit darauf hingewiesen werden (um zu verhüten, dass zu weit gehende Folgerungen aus dem hier Gesagten gezogen werden), dass *unsere Kulturpflanzen*, mit denen wir es in erster Linie zu thun haben, soweit wir wissen, auf völlig unorganischem Boden üppigst gedeihen können und, wenn sie überhaupt in ausgedehnterem Maasse organische Substanzen aufnehmen**), uns nicht bekannt ist, ob sie erheblichen Nutzen aus dieser Aufnahme zu ziehen vermögen.

Fassen wir, ehe wir diese Vorlesung schliessen, die Hauptsätze, zu denen wir durch unsere bisherigen Betrachtungen gelangt sind, noch einmal kurz zusammen:

1. Die Pflanzenwelt hat die Fähigkeit, organische Substanzen aus Kohlensäure und Wasser zu erzeugen. Diese Thätigkeit ist ein Reduktionsprozess und geschieht daher unter Sauerstoffausscheidung.
2. Die Fähigkeit, organische Substanzen zu produzieren, ist ausschliesslich an die chlorophyllhaltige Zelle, das Elementarorgan der grünen Pflanzenteile, gebunden. Alle Pflanzenteile und Pflanzen, die keine chlorophyllhaltigen Zellen enthalten, besitzen diese Fähigkeit nicht und sind gezwungen, gleich den Tieren ihre kohlenstoffhaltigen Bestandteile aus schon vorgebildeter organischer Substanz zu nehmen.
3. Die chlorophyllhaltige Zelle übt ihre Thätigkeit nur aus, wenn sie einen gewissen Wasserreichtum besitzt, und sie thut dies nur mit einer erheblichen Energie, wenn der Partialdruck der ihr zur Verfügung stehenden Kohlensäure wesentlich kleiner ist als 760^{mm}.
4. Die Bildung von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser ist eine chemische Arbeit und deshalb ist zu jener Bildung in der Pflanze eine Kraft erforderlich, die jene Arbeit leistet.
5. Diese Kraft ist das Licht (in der Natur immer das Sonnenlicht), und somit stellt das Vorhandensein von Licht eine weitere Bedingung der Erzeugung von organischer Substanz dar.
6. Die Strahlengattung, welche die chemische Arbeit in der chlorophyllhaltigen Zelle leistet, liegt in dem weniger brechbaren Teil des leuchtenden Spektrums, während diejenigen Strahlen, welche vorzugsweise ausserhalb jenes physiologischen Apparates chemische Arbeiten anderer Art zu verrichten pflegen, hierbei weniger in Betracht zu kommen scheinen.
7. Ein gewisser Temperaturgrad ist gleichfalls erforderlich zur Bildung von organischer Substanz in den grünen Pflanzenorganen und zwar bei verschiedenen

*) Vergl. Acton: Naturwiss. Rundschau 1889, p. 594.

**) Die Aufnahme und Assimilation stickstoffhaltiger organischer Stoffe ist, wie wir bald sehen werden, für einige Kulturpflanzen erwiesen. Über die etwaige Aufnahme humoser Körper vergl. auch Detmer: Landw. Versuchsst., XV, p. 284.

Pflanzenarten verschiedene, wenn auch nicht weit auseinanderliegende Temperaturen.

8. Der Chlorophyllfarbstoff, der aus der chlorophyllhaltigen Zelle gewonnen werden kann, ist ausserhalb der Zelle unter Erfüllung der übrigen zur Produktionsarbeit für notwendig erkannten Bedingungen unfähig, die Bildung von organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser einzuleiten.
9. Wenn es uns trotzdem auch ausserhalb von Organismen gelingt, organische Substanzen ausgehend von der Kohlensäure zu erzeugen, so geschieht dies bis dahin immer unter Inanspruchnahme von inneren, chemischen und nicht von äusseren Kräften.
10. Die erste erkennbare in der chlorophyllhaltigen Zelle aus Kohlensäure und Wasser gebildete organische Substanz ist in weitaus den meisten Fällen das Stärkemehl, das sich den Chlorophyllkörnern dann eingebettet zeigt, in selteneren Fällen eine Zuckerart.
11. In manchen Pflanzen ist der Ausgangspunkt des Produktionsprozesses, der mit Stärkeerzeugung endigt, neben der Kohlensäure auch eine Äpfelsäure. Die übrigen Umstände sind dabei dieselben wie beim gewöhnlichen Prozesse.
12. Zur Bildung des Chlorophyllapparats aus der noch unentwickelten chlorophyllhaltigen Zelle ist erforderlich ein gewisser nicht ganz niedrig liegender Temperaturgrad, ferner in beinahe allen Fällen eine gewisse ziemlich geringe Lichtintensität.
13. Die bei Ausschluss von Licht erzogene (sonst) chlorophyllhaltige Pflanze ist ein vollkommenes Analogon des hungernden Tieres.
14. Der entgegengesetzte Gasaustausch von chlorophyllhaltigen und -freien Organismen bürgt nicht für eine Konstanz der Zusammensetzung der Atmosphäre.
15. Die uns zu wirtschaftlichen Zwecken zu Gebote stehende mechanische Arbeitskraft steht in inniger Abhängigkeit von der Thätigkeit in der chlorophyllhaltigen Zelle und von der Menge von Strahlen, welche die Sonne zur Erde sendet.
16. Die chlorophyllgrünen Pflanzen sind nicht schlechthin unfähig, organische Substanz von aussen aufzunehmen und zu verwerten; doch spielt bei den Kulturpflanzen eine derartige Ernährung keine praktisch in Betracht kommende Rolle.

Sechste Vorlesung.

Wanderung der organischen Substanz. — Umwandlung derselben.

Wenn in der grünen Pflanze neben der Fähigkeit, organische Substanz aus den weit verbreiteten anorganischen Stoffen, Wasser und Kohlensäure, mit Hilfe der Sonnenstrahlen zu schaffen, nicht auch die andere Fähigkeit vorhanden wäre, die so

produzierte organische Substanz aus einer Zelle in eine andere mehr oder weniger entfernte Zelle, die aus Mangel an Chlorophyll die Fähigkeit nicht hat, sich die, auch ihr unentbehrliche, organische Substanz selbst zu produzieren, überzuführen, so wären die Pflanzen gar übel organisiert und würden trotz jener ersten Fähigkeit doch nicht jene bedeutende Rolle in der organischen Welt übernehmen können, die sie thatsächlich in derselben spielen.

Wir haben in den vorausgegangenen Vorlesungen das Stärkemehl als denjenigen organischen Stoff kennen gelernt, den wir in weitaus den meisten Fällen als direktes oder wenigstens als zuerst sichtbares Assimilationsprodukt des Chlorophyllorgans zu betrachten berechtigt sind. Innerhalb der „Chlorophyllkörner" bilden sich in beinahe allen Pflanzen unter denjenigen Bedingungen, die überhaupt zur Produktion von organischer Substanz erforderlich sind, Einschlüsse, die man als aus Stärkemehl bestehend erkannt hat. Dass diese Stärkemehleinschlüsse bei Nichterfüllung jener Bedingungen, also z. B. in mässiger Dunkelheit oder bei Fehlen der Kohlensäure, nicht entstehen, ist mit genügender Sicherheit nachgewiesen worden. Wir haben in einer früheren Vorlesung diese Bildung von Stärkemehleinschlüssen im Licht als einen weiteren Beweis für die Abhängigkeit der Produktion von organischer Substanz vom Lichte angesehen, um so mehr, als auch die Anwesenheit der minder brechbaren leuchtenden Strahlen für die Bildung jener Einschlüsse als wesentlich entscheidend gefunden wurde*).

Aus der einfachen Thatsache, dass Stärkemehlkörner sich auch in anderen Pflanzenteilen vorfinden als in solchen, wo die Bedingungen zu ihrem Entstehen aus anorganischer Substanz sich vereinigt finden, liegt es nahe, den Schluss zu machen, dass eine Wanderung von Zelle zu Zelle, von Pflanzenteil zu Pflanzenteil für das Stärkemehl möglich sein müsse, gleichgültig vor der Hand, ob hierbei zugleich eine Stoffumwandlung stattfinde. Sachs war wohl der erste, der, von dieser Betrachtung geleitet, es unternahm, das Stärkemehl auf seiner Wanderung beobachtend zu verfolgen**). Er zeigte zunächst, wie das Stärkemehl innerhalb der Chlorophyllkörner am Lichte erwachsener Pflanzen, nach dem Verbringen derselben in einen dunkeln Raum, völlig verschwindet und dass dieser Prozess durch hohe Temperatur begünstigt wird; er wies z. B. nach, dass bei Tropaeolum majus, Nicotiana tabacum, Geranium peltatum im Finstern binnen 48 Stunden die Stärke aus den Chlorophyllkörnern verschwunden war. Nachdem alsdann die Pflanzen nach fünftägigem Aufenthalt im Dunkeln dem Sonnenlicht ausgesetzt wurden, bildeten sich nun innerhalb weiterer fünf Tage neue Stärkemehleinschlüsse in den Chlorophyllkörnern, wodurch also die Abhängigkeit des Verschwindens und der Neubildung des Stärkemehls von Dunkelheit und Licht hinreichend festgestellt war. Der Nachweis dieser Thatsachen ist durch die Verbesserung der Methode des Stärkenachweises aus dem Jahre 1884***) natürlich sehr vereinfacht und nun jedermann

*) Famintzin: Pringsh. Jahrb., Bd. VI, p. 31.

**) J. Sachs, Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 29 u. 327. Ähnliche Anschauungen indessen schon bei H. v. Mohl, Payen u. Nägeli.

***) Vergl. Vorlesung IV, p. 59.

zugänglich. Auch hat man infolge solcher Verbesserungen erkannt, dass viel kürzere Zeiten, ja häufig Stunden, genügend sind, um Kommen und Verschwinden von Stärkeeinschlüssen nachzuweisen*).

Dies Verschwinden der Stärkeeinschlüsse, das beobachtet wird, sobald die Bedingungen zur steten Neubildung fehlen, liesse sich an und für sich auch durch wirklichen Verbrauch infolge einer langsamen Verbrennung, welche, wie wir später sehen werden, die lebende Pflanze stets unterhält, erklären, und ein gewisser Teil dieser steten Abnahme muss auch auf Rechnung einer solchen Verbrennung gesetzt werden; doch lässt die in Rede stehende Thatsache, zusammengehalten mit dem *Auftreten von Stärke in benachbarten, aber zur Produktion ungeeigneten Pflanzenteilen*, keine andere Deutung zu als die, dass das Verschwinden jener Stärkeeinschlüsse infolge einer *wahren Stoffwanderung* durch die Zellenwände hindurch vor sich gehe. Auch zeigen abgeschnittene Blätter eine sehr viel langsamere Abnahme ihrer Stärkegehalte, offenbar, weil bei ihnen keine Gelegenheit zum Fortschaffen besteht.

Man darf sich nun nicht etwa der Vorstellung hingeben, als ob ein solches Abnehmen und endliches Verschwinden der Stärkekörner nur im Dunkeln vor sich gehe, sondern wir müssen annehmen, dass stets eine solche Auswanderung der Stärke stattfinde, dass dieselbe aber nur in der Dunkelheit einen sichtbaren Effekt hervorbringen kann, während sie im Licht von dem Resultat der Produktionsthätigkeit überflügelt wird; und in der That hat man**) experimentell erwiesen, dass, wenn man die grünen Organe durch Fernehalten der Kohlensäure im Lichte an der Produktionsthätigkeit verhindert, die Stärkekörner rasch aus dem Chlorophyll verschwinden und zwar rascher wie in der Dunkelheit, wie dies ja a priori (der grösseren Wärme bei der Besonnung wegen) erwartet werden konnte.

Dass eine sehr vollkommene Wanderung des Stärkemehls in der lebenden Pflanze möglich sein muss, kann auch, abgesehen von allen diesen mehr ins einzelne gehenden Beobachtungen, aus vielen sehr bekannten Vorgängen geschlossen werden. Wenn man z. B. ein beliebiges Gewächs an einem finsteren Ort sich aus dem Samen oder der Knolle entwickeln lässt, so findet bei angemessenen Temperaturverhältnissen reichliche Blätterentwickelung statt. Wir wollen hier nicht wieder auf die eigentümliche Gestaltung eingehen, die wir unter den bezeichneten Umständen an den neuentwickelten Organen beobachten; uns interessiert hier nur die Thatsache, dass nach einiger Zeit Stillstand in der Entwickelung eintritt und dass, wenn man in diesem Zustande die Pflanze einer mikroskopischen Prüfung unterwirft, sich eine mehr oder minder vollständige Entleerung sowohl des ursprünglich prall gefüllten Reservestoffbehälters als des gesamten Gewebes der neugebildeten Pflanzenteile her-

*) Der Unterschied ist in der That so bedeutend, dass die Blätter der meisten Kulturpflanzen am Abend so erheblich viel reicher an Stärkemehl sind als morgens, dass praktische Folgerungen, wie z. B. bezüglich des Pflückens von Maulbeerblättern für Fütterung der Seidenraupen, ja selbst Schneiden von Grünfutter am Abend, auf der Hand liegen.

**) Godlewski: Flora, 1873, p. 378. Auch Moll und zuletzt Sachs (Arbeiten d. botan. Inst., Bd. III, p. 1) haben dieselbe Beobachtung gemacht.

ausstellt, eine Entleerung, die sich im allgemeinen auf Stärkemehl oder auch auf einen stellvertretenden Stoff bezieht. Das Protoplasma des Parenchyms der Blätter, aus dem sich im normalen Zustande das Chlorophyll entwickelt, bleibt unter den bezeichneten Umständen gänzlich frei von Stärkemehleinschlüssen.

Lässt man die Pflanze, wenn sie sich in diesem Stadium befindet, noch längere Zeit im Dunkeln, so geht sie zu Grunde aus Mangel an Licht — sie verhungert. Bringt man sie jedoch noch zu rechter Zeit ans Licht, so beginnt die vollständigere Ausbildung der in ihrer Grundlage schon vorhandenen Chlorophyllkörner, und in den Zellen, wo diese sich eingelagert finden, stellt sich die Produktionsthätigkeit ein; in den ergrünten Blättern leistet das Licht seine chemische Arbeit. Nun tritt nach kurzer Zeit Stärkemehl in den Chlorophyllkörnern auf, und etwas später finden wir es dann auch in den leitenden Geweben*) der Blattstiele, die ganz in ihrer Ernährung von den Blättern selbst abhängig sind und daher bei dem Verlust dieser rasch zu Grunde gehen. Weiter lässt sich dann die Stärke leicht verfolgen bis in die neu sich entwickelnden Organe, bis nahe an den sogenannten Vegetationspunkt**). Diese, bis dahin eines weiteren Wachstums unfähig, beginnen sich nun zu entfalten; die Neubildung schreitet wieder fort und erleidet keine weitere Hemmung mehr als die durch das morphologische Gesetz. Nichts ist wohl im stande, uns vollkommener von der Wanderungsfähigkeit des Stärkemehls von Zelle zu Zelle zu überzeugen, als die Betrachtung eines solchen Entwickelungsganges, wenn wir dabei die Möglichkeit einer Organbildung im wesentlichen auf Kosten von Stärkemehl als etwas Bekanntes voraussetzen.

Genau so belehrend in Bezug auf die Wanderungsfähigkeit des Stärkemehls ist nun auch die Betrachtung der Aufspeicherung desselben in gewissen Organen, wo es zunächst keine Verwendung zur Neubildung findet, wie z. B. den Kartoffelknollen, ein Vorgang, der durch einen ganz übereinstimmenden Prozess zu stande kommt.

Die Frage, die nun an uns herantritt, ist: Wie kommt eine solche Wanderung zu stande? Durchbohrt das Stärkemehl die Zellenwandungen, wie dies Mycelienfäden zu thun scheinen, ohne Löcher in denselben zu hinterlassen? Oder ist zur Wanderung eine Lösung des Stärkemehls erforderlich, und findet in diesem Falle eine chemische Umwandlung statt?

Betrachten wir, um diese Frage zu beantworten, die Eigentümlichkeiten, die uns das Stärkemehl auf seinem Wanderungswege darbietet, und suchen wir uns durch dieselben Aufschluss zu verschaffen über die Art und Weise, wie diese Wanderung vor sich geht. — Die zuerst ausgesprochene Vermutung, dass die Stärkemehlkörner in unveränderter Form durch die Zellwandungen hindurchgehen, müssen wir sofort verwerfen; denn schon rein theoretische Gesichtspunkte in Bezug auf den Ursprung

*) Welche die hierbei funktionierenden Gewebe sind, lässt sich leicht durch Ringelung (wobei die äusseren Schichten des Querschnitts durchschnitten werden) nachweisen. Vergl. hierüber z. B. Cuboni: Naturforscher 1885, p. 224, welcher zeigte, dass der Stärketransport aus Rebenblättern bei Ringelung der Triebe unterhalb unterblieb.

**) Dass dieser selbst frei gefunden wird von Stärke sowohl als von Zucker, ist eine Anomalie, welche wohl noch eines näheren Studiums wert ist. Vergl. hierüber J. Sachs: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, p. 433.

der Kraft, die zu einer solchen Leistung erforderlich wäre, verdammen eine solche Anschauung als abenteuerlich, während eine derartige Schwierigkeit offenbar für einen Mycelienfaden, welcher der Sitz eines lebhaften Stoffwechsels ist, nicht besteht. Zudem lehrt uns der direkte Augenschein, dass die Stärkemehlkörner auf der Wanderung durchschnittlich viel kleiner sind, namentlich als diejenigen, die wir in den Reservestoffbehältern aufgespeichert finden. Schon diese Thatsache allein würde uns zu der Annahme zwingen, dass das Hindurchgehen der Stärketeilchen durch die Zellwände nur in gelöster Form geschieht.

Nun kommen aber noch andere beobachtete Thatsachen hinzu, welche die Löslichkeit und Abscheidung der Stärke in bestimmten Zellflüssigkeiten zur Gewissheit erhebt. Die Pflanzenanatomen unterscheiden in der die Zellen erfüllenden Flüssigkeit, ausser dem schon mehrfach erwähnten dickflüssigeren Protoplasma, von dessen wichtigen organischen Leistungen schon mehrfach die Rede war, eine mehr wässrige, das Licht nur schwach brechende Vakuolenflüssigkeit, die in jungen Zellen rundliche scharf begrenzte Räume, später einen grossen zusammenhängenden Raum innerhalb jenes Urbildungssaftes erfüllt. Der Inhalt dieser Vakuolen, der sogenannte Zellsaft, steht zu den wichtigsten Lebensvorgängen in weniger unmittelbarer Beziehung, und es gehen beispielsweise niemals Neubildungen von ihm aus.

Man hat nun nachgewiesen, dass Stärkemehlkörner nur von seiten der protoplasmatischen Flüssigkeit oder halbfesten körnigen Teilen*) derselben zur Abscheidung gelangen, ganz ähnlich wie die Chlorophyllkörner, welche ja auch protoplasmatische Gebilde sind, unter bestimmten früher genau beschriebenen Bedingungen Stärkeeinschlüsse in sich erzeugen, während andererseits die Auflösung der Stärke überall in der Zelle erfolgen kann, wenn Stoffe zugegen sind, von denen gleich noch die Rede sein soll.

Die vorstehenden Thatsachen zwingen uns zu der Annahme, dass *die Wanderung des Stärkemehls stattfindet durch die Fähigkeit der Zellflüssigkeiten, dasselbe unter gewissen Umständen aufzulösen und durch die Fähigkeit der so entstandenen Lösung, in dieser Form Zellenwand und Primordialschlauch (die besonders widerstandsfähige oberflächliche oder sogenannte Hautlage des Protoplasmas) zu durchdringen.*

Das Stärkemehl ist nun in Wasser unlöslich, oder wenigstens haben die unvollkommenen Lösungen, die von demselben erzielt werden können, nicht die Fähigkeit, durch pflanzliche Häute durchzudringen. Hierzu kommt, dass niemals eine Blaufärbung von Zellflüssigkeiten durch Jod, auch nicht, wenn wir uns dieselben mit gelöster Stärke bis zur Ausscheidung gesättigt denken mussten, beobachtet worden ist. Hieraus ist nun zu schliessen, dass die Auflösung des Stärkemehls nur mit gleichzeitiger chemischer Veränderung möglich ist, dass diejenige Flüssigkeit, welche durch die Membranen hindurchgeht und die Fähigkeit hat, Stärkemehlablagerungen zu bewirken, kein Stärkemehl als solches gelöst enthält. Die Zellflüssigkeit muss offenbar Elemente enthalten, die unter gewissen Umständen eine solche Veränderung bewirken und sie zu dem beobachteten Erfolge befähigen.

*) Schimpers Stärkebildner.

Man kann in Bezug auf diese Umwandlung nun noch bestimmtere Annahmen machen und die Vermutung aussprechen, dass die Stärke im Zellsafte in Form von Zucker aufgelöst und wiederum aus einer solchen zuckerhaltigen Lösung abgeschieden werde, wobei wir die Art Zucker, um die es sich handelt, vorläufig unbestimmt lassen wollen. Diese Hypothese gewinnt dadurch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass eine Reihe fermentartig wirkender Stoffe*), wie Diastase, die Fermente des tierischen Pankreassafts und Speichels, in ähnlicher Weise das Stärkemehl zu verwandeln vermag und dass sich derartige Stoffe regelmässig in den lebenden Pflanzen vorfinden. Dagegen haben wir niemals den umgekehrten Prozess, eine Stärkemehlbildung aus zuckerhaltigen Flüssigkeiten, ausserhalb der Pflanze wahrgenommen; doch scheint es in neuester Zeit gelungen, wenigstens Dextrin aus Traubenzucker mittelst wasserentziehender Mittel zu erzeugen, was wenigstens ein grosser Schritt auf diesem Wege ist**). Sicher bleibt in allen Fällen bei der Wanderung die wechselweise Auflösung und Abscheidung der Stärkekörner mit gleichzeitiger chemischer Umwandlung, wenn wir auch die Frage nach dem Umwandlungsprodukt noch teilweise unentschieden lassen müssen.

Trotz diesem noch etwas unsicheren Stande der Dinge können wir uns schon jetzt die neue Frage vorlegen: Was veranlasst denn diese immerwährende Auflösung und Abscheidung von Stärkemehl, welche die Pflanzenphysiologen scheinbar so willkürlich aufeinanderfolgen lassen? Was veranlasst, auch abgesehen von der chemischen Umsetzung, ein Stärkekorn, sich aufzulösen, während in der Nachbarzelle, wo doch offenbar möglichst ähnliche Bedingungen herrschen, gerade das Umgekehrte stattfindet? Sind dies nicht alles gehaltlose Konstruktionen auf dem Papier, die den Umständen, wie sie in der Natur walten, durchaus nicht Rechnung tragen und darum auch niemals im stande sind, jene merkwürdigen Thatsachen zu erklären?

Es versteht sich von selbst, dass auf allen den Gebieten, auf welchen wir zur Zeit unfähig sind, zu einem abschliessenden Urteile zu gelangen, Hypothesen aushelfen müssen, und dass auch diese häufig mehr eine Vorstellung davon geben, ob eine Erklärung überhaupt möglich erscheint, als dass auf diese Weise schon wirkliche Erklärungen gegeben werden könnten. Denn nur Hypothesen geben uns ein wenn auch unsicheres Leitband, woran die zukünftige Forschung einen Schritt weiter wagen

*) Siehe Vorlesung XXV. Neuere Untersuchungen von Wortmann (Botan. Zeitung 48, Nr. 37 u. f.) scheinen auf eine sehr beschränkte Verbreitung von Diastase im Blattgewebe hinzuweisen, so dass in diesen Fällen an die Thätigkeit des Protoplasmas selber gedacht werden müsste. Doch haben später Brown und Morris in einer sehr eingehenden Abhandlung (Journ. of the Chemical Society 1893, 63, p. 604) gezeigt, dass dieses Enzym nur dadurch vom Protoplasma sich löst, dass man die Blätter zuvor trocknet. Findet sich in den Blättern kein zuckerbildendes Ferment, so muss man das Protoplasma selber als solches ansehen, wie ja die Enzyme im allgemeinen als Protoplasmasplitter aufgefasst zu werden verdienen. Vergl. Adolf Mayer: Enzymologie 1882, p. 120.

**) Vergl. Wohl: Chem. Ber. 1890, p. 2084, nach dessen Untersuchungen durch dieselbe Säure gleichzeitig Inversion und Reversion stattfinden können. Auch Erklärungsversuche daselbst. Siehe auch Chem. Centralb. 1891, p. 326.

darf, sie allein gewähren uns das, ohne welches das geschickteste Experimentieren in der Regel erfolglos bleiben wird — eine deutliche Fragestellung.

Die einfachste Annahme, welche zur Zeit thunlich erscheint, ist wohl die ungleichmässige Verteilung von (auf die Kohlenhydrate wirkenden) fermentartigen Stoffen in verschiedenen Pflanzenteilen, eine Annahme, die erleichtert wird durch die Thatsache, dass fermentartige Stoffe ein grosses Molekül zu haben pflegen und deshalb recht gut in gewissen Zellpartieen fixiert bleiben können. Enzyme, welche Stärke in Zucker verändern, sind uns bekannt; wären sie überall vorhanden, so würde eine möglichst gleichmässige Verbreitung der in Zucker verwandelten Kohlenhydrate die unabweisbare Folgerung sein. Sind dieselben aber nur da angehäuft, wo wir Stärke auswandern sehen, z. B. in den sich entleerenden Kotyledonen und Endospermen (und glücklicherweise sind hiermit mehrere bekannte Thatsachen in guter Übereinstimmung), und herrscht an den Orten, wo Stärke sich anhäuft, ein entgegengesetzter Zustand des Protoplasmas, wodurch Zucker in Stärke zurückverwandelt wird, so bietet die Erklärung der Wanderung selber im übrigen keine Schwierigkeiten mehr dar, da alles auf gewöhnlichen osmotischen Ausgleich hinausläuft. Der leicht diffundierbare Zucker wird da abfliessen, wo er immer wieder erzeugt wird, er wird unaufhörlich dahin strömen, wo wegen seiner Rückverwandlung in Stärkemehl immer ein Mindergehalt vorhanden ist, so lange — bis kein Stärkemehl mehr an dem Orte der Auswanderung vorhanden ist. Auf diese Weise muss einstweilen das Zuströmen von Stärke in einen Behälter, der vielleicht bereits viel Stärkemehl besitzt, erklärt werden, und das einzige Rätselhafte bei diesem Vorgange ist die Rückverwandlung von Zucker in Stärke, die wir künstlich nicht nachzuahmen vermögen. Ausser den fermentartigen Stoffen in den Organen, woraus Stärkemehl oder andere Reservestoffe verschwinden, ist darum vermutlich noch eine entgegengesetzte Eigenschaft des Protoplasmas da, wo die Stoffe sich ansammeln, zu statuieren. Wenigstens sind für den Rohrzucker in den Rüben darauf bezügliche Beobachtungen gemacht worden*). Eine Schwierigkeit ist freilich noch übrig, aber auch diese ist auf dem Wege, hinweggeräumt zu werden. Ich meine die Langsamkeit der Diffusionsbewegung, infolge deren man derselben auch nur noch einen untergeordneten Einfluss auf die Saftbewegung zuschreibt. Der holländische Botaniker de Vries**) hat in Bezug hierauf gezeigt, dass die Protoplasmabewegung innerhalb der Zellen (wovon wir in der nächsten Vorlesung noch zu reden haben werden) eine sehr allgemein verbreitete Erscheinung in der Pflanzenwelt ist, und diese Bewegung mit Glück für das Problem des Stofftransports in Anspruch genommen, wobei die Thatsache in Betracht kommt, dass die Protoplasmamassen, neueren Untersuchungen gemäss, vielfach durch die Zellwände hindurch miteinander anastomosieren***).

*) Durch Brasse, der eine Art Speicherung dieses Reservestoffes in Form von einer sehr losen Verbindung mit protoplasmatischen Stoffen aus seinen Versuchen folgern zu müssen meinte. Vergl. Ann. agron. XII.

**) Vergl. Botan. Zeit. 1885, Nr. 1 und 2. Als Vorläufer zu den einschlagenden Entdeckungen verdient W. Velten genannt zu werden.

***) Vergl. namentlich Kienitz-Gerloff: Botan. Zeitung 1891, Nr. 1—5.

Doch genug von diesen Hypothesen. — Wir haben, um die Wanderung des Stärkemehls von Zelle zu Zelle zu erklären, die Annahme einer Umwandlung desselben in einen leicht löslichen, zuckerartigen Stoff gemacht. Dies ist jedoch nicht die einzige Umwandlung, die das Stärkemehl innerhalb der Pflanze und auf der Wanderung erleidet. Alle Umwandlungsprozesse aber stehen jedenfalls zu der Stoffwanderung in der allerinnigsten Beziehung.

Wir haben schon Andeutungen dafür gegeben, dass die Entfaltung neuer Organe, deren stickstofffreie Substanz wesentlich aus Zellstoff besteht, hauptsächlich auf Kosten von Stärkemehl aus den produzierenden Blättern oder irgend einem Reservestoffbehälter vor sich geht. Hier muss also — und es ist leicht, dies durch Analysen zu erweisen — eine Umwandlung von Stärkemehl in Cellulose stattfinden, ein Vorgang, der uns, wenn wir einmal die innigen Beziehungen zwischen diesen beiden Substanzen kennen gelernt haben werden, nicht mehr befremden wird. Der Zucker des Zellsaftes scheint einfach unter gewissen Bedingungen, die in wachsenden Zellen erfüllt sind, sich nicht als Stärkemehlkorn, sondern als Zellmembran abzuscheiden.

Aber auch den umgekehrten Prozess hat man häufig beobachtet. So dient der abgelagerte Zellstoff in vielen Fällen als Reservestoff, der beim Austreiben junger Organe im Zellsaft gelöst wird und ganz wie das Stärkemehl zum Aufbau junger Organe Verwendung findet. Das Verhalten des holzigen Endosperms der Dattel ist hierfür ein bekanntes Beispiel; derselbe dient (bei der Keimung jener) als Baustoff für die sich entfaltenden Triebe *). Ähnlich steht es auch mit dem Zellstoff in den Knospen von der Esche und in vielen anderen Fällen.

Als weitere Belege für diese Umwandlungsfähigkeit der einzelnen organischen Substanzen ineinander können Keimungsversuche dienen, doch nur solche, wo der Versuch nicht bis zu einer Zeit fortgesetzt wurde, dass chlorophyllhaltige Organe, die selbst neue organische Substanz zu bilden und so den Versuch zu stören im stande sind, ausgebildet waren, oder solche, wo das Licht ausgeschlossen und so dasselbe erreicht war.

Derartige Versuche sind z. B. folgende. 22 Maiskörner entwickelten sich innerhalb dreier Wochen im Dunkeln zu jungen Keimpflanzen und zeigten dabei die folgenden Gewichtsveränderungen der einzelnen Substanzen in Grammen **):

	Körner.	Keimpflanzen.	Differenz.
Trockensubstanz	8,64 Gr.	4,53 Gr.	— 4,11 Gr.
Stärkemehl (Dextrin)	6,39 „	0,78 „	— 5,61 „
Zucker	0 „	0,95 „	+ 0,95 „
Öl	0,46 „	0,15 „	— 0,31 „
Cellulose	0,52 „	1,32 „	+ 0,80 „

während das Frischgewicht sich von 9,84 Gr. auf 73,26 Gr. vermehrt hatte.

*) Mit den Zellwänden der bekannten Phytelephas ist es jedenfalls ebenso und in der That verhält sich dieser Zellstoff bei der Rohfaserbestimmung teilweise wie ein löslicher Stoff. In einer der nächsten Vorlesungen werden wir zu einer schärferen Begriffsbestimmung von Zellstoff gelangen.

**) Versuch von Boussingault: Compt. rend., 1864, Bd. 58, p. 917.

Ebenso ein Maiskorn in einem Monat:

	Korn.	Keimpflanze.	Differenz.
Trockensubstanz	0,489 Gr.	0,300 Gr.	— 0,189 Gr.
Stärkemehl (Dextrin)	0,362 „	0 „	— 0,362 „
Zucker	0 „	0,129 „	+ 0,129 „
Öl	0,026 „	0,005 „	— 0,021 „
Cellulose	0,029 „	0,090 „	+ 0,061 „

Man erkennt aus diesen Zahlen zweifellos, wie ausser der bedeutenden Gewichtsvermehrung der gekeimten Samen, die aber lediglich auf Wasseraufnahme zurückgeführt werden kann, eine Neubildung von zuckerartigen Stoffen und von Cellulose stattgefunden hat, während das Stärkemehl und das fette Öl beinahe gänzlich verschwunden sind. Es ist also durch einen solchen Versuch bewiesen, dass diese letzteren Stoffe sich in die erstgenannten verwandelt haben.

Ähnliche Folgerungen sind den Versuchen von Peters*) zu entnehmen, deren Resultate, bezogen auf 1000 Samen von Kürbis, für drei Entwickelungsstadien des Keims erhalten worden sind**).

	Ungekeimter Samen.	Keimflpanzen. I. Periode.	II. Periode.	III. Periode.
Trokengewicht	276,00	274,80	245,10	215,90
Stärkemehl	0	8,89	17,50	6,63
Dextrin-Gummi	Spur	2,56	3,55	6,13
Zucker	Spur	3,81	9,48	12,80
Öl	136,65	103,51	56,43	12,98
Cellulose	8,34	9,33	12,23	21,20
Extraktivstoffe etc.	6,86	22,96	33,01	43,48.

Auch aus den diesem Versuche entnommenen Zahlen geht hervor, dass während der Keimung die Trockensubstanz eine succesive Verminderung erfährt und dass — was uns hier in erster Linie interessiert — nicht bloss Zucker, Gummi, Zellstoff und jener Rest von Stoffen, den man gewöhnlich als Extraktivstoffe zusammenfasst, sondern auch das Stärkemehl in kontinuierlicher Zunahme begriffen ist, alle auf Kosten von Öl, das in den Kürbissamen als ausschliesslicher Reservestoff funktioniert. Es ist also in diesem Falle die Umwandlungsfähigkeit jener einzelnen organischen Stoffe ineinander vielleicht in noch unzweideutigerer Weise bewiesen, als durch jenen ersten Boussingault'schen Versuch***).

*) Landw. Versuchsst. 1861, B. III, p. 1—18. Auch die Keimungsversuche von Planta's am Mais (Jahresber. f. Agrik.-Chem., 1861—62, p. 76) haben ähnliche Resultate ergeben. Vergl. ferner über andere Arbeiten in derselben Richtung Tietschert: Keimungsversuche etc. Halle 1872, p. 16.

**) Die drei Entwickelungsstadien der jungen Pflänzchen waren folgendermaassen charakterisiert:

Erste Periode: Hauptwurzel 2—4 cm lang, keine Nebenwurzeln.

Zweite Periode: Die ersten 5—6 Nebenwurzeln bis auf 2—3 cm Länge gestreckt. Die Basis der Kotyledonen schwach grün.

Dritte Periode: Die Streckung der Wurzel und des hypokotylen Gliedes vollendet, Kotyledonen ausgebreitet, blattartig, grün. Das erste Blatt beginnt sich zu entwickeln.

***) Das Öl soll bei der Keimung von Samen nach Müntz (Ann. d. Chim. et Phys. 1871 avr.) sich zuerst in Glycerin und fette Säuren zerspalten, jenes verschwinden und die fetten

Die Wanderung dieser anderen stickstofffreien Stoffe in der Pflanze ist nun, soweit sie in gelöster Form in der Zellflüssigkeit sich befinden, äusserst schwer kontrollierbar und wenig oder nichts über eine solche bekannt. Dieselben stehen jedoch grossenteils zum Stärkemehl in genetischen Beziehungen und vollziehen häufig, ehe sie die Wanderung beginnen, eine Umwandlung in Stärkemehl. So verwandelt sich das Inulin der Knollen von Dahlia und anderen Pflanzen, ebenso der Rohrzucker, welcher als Reservestoff in manchen Wurzeln auftritt, bei dem Austreiben in Stärke (resp. Traubenzucker), die auf dem Wege zu den sich ausbildenden Organen anzutreffen ist. Wir werden daher zweckmässig erst einen noch allgemeineren Blick auf diese genetischen Beziehungen zu werfen haben, ehe wir auf die Wanderung dieser Stoffe näher eingehen.

Zunächst lässt sich in Bezug auf die Umwandlung stickstofffreier organischer Körper etwas ganz Allgemeines hervorheben, wozu man auf rein theoretischem Wege geführt wird. Die hier zu entwickelnden Grundsätze gehen einfach hervor aus dem Prinzip, dass eine chemische Umwandlung niemals unter Anhäufung von chemischen Spannkräften stattfinden kann, es sei denn, dass eine äussere Kraftquelle zu Gebote steht, aus deren Verbrauch sich jene Anhäufung erklärt. Ich habe es nicht für überflüssig gehalten, diesen eigentlich selbstverständlichen Grundsatz hier hervorzuheben, da ihm öfters keine Beachtung geschenkt wird, also dass man ohne weiteres sich eine Pflanzensäure in ein Kohlenhydrat verwandeln lässt (mit gleichviel Kohlenstoff womöglich), ohne zu bedenken, dass hierzu eine Kraft erforderlich ist, welche die nötige Arbeit leistet.

Wenn wir schematisch ein Kohlenhydrat mit der Formel $C_x H_{2y} O_y$ bezeichnen, so wird man ein jedes Fett ausdrücken können durch die Formel $C_{x_,} H_{2y_,} O_{y_, - z_,}$, eine der gewöhnlichen Pflanzensäuren durch die Formel $C_{x_{,,}} H_{2y_{,,}} O_{y_{,,} + z_{,,,}}$ worin die Buchstaben des kleinen Alphabetes je nach der chemischen Verbindung, welche die Formel vorstellt, verschiedene Werte haben können.

Lassen wir nun ein Kohlenhydrat in eine Pflanzensäure übergehen, so kann dies offenbar unbeschadet des aufgestellten Prinzips durch einfache Oxydation geschehen, vorausgesetzt natürlich, dass die sonstige Konstitution der Verbindungen dies zulässt; ebenso der Übergang eines Fetts in eine Pflanzensäure oder in ein Kohlenhydrat. Bei einer Verbrennungserscheinung findet Verlust an chemischen Spannkräften, der sich gewöhnlich durch deren Übergang in Wärme äussert, statt. Zu einer solchen chemischen Aktion sind keine von aussen stammenden Kräfte erforderlich. Es steht also der Erfüllung der Gleichungen:

$$C_x H_{2y} O_y + z_{,,} O = C_{x_{,,}} H_{2y_{,,}} O_{y_{,,} + z_{,,}}$$

$$\text{für } x = x_{,,},\ y = y_{,,}$$

$$C_{x_,} H_{2y_,} O_{y_, - z_,} + (z_, + z_{,,}) O = C_{x_{,,}} H_{2y_{,,}} O_{y + z_{,,}}$$

$$\text{für } x_, = x_{,,},\ y_, = y_{,,}$$

$$C_{x_,} H_{2y_,} O_{y_, - z_,} + z_, O = C_x H_{2y} O_y$$

$$\text{für } x = x_,,\ y = y_,,$$

Säuren sauerstoffreicher werden. Indessen funktionieren nicht in allen fetthaltigen Samen die Fette als Reservestoffe; wenigstens fand Detmer bei der Keimung von Mohn und Raps zunächst keine Verminderung an diesen Stoffen (siehe dessen Habilitationsschrift, Jena 1875).

die als chemische Gleichungen (d. h. also in Bezug auf die Anzahl der Atome auf beiden Seiten) unzweifelhaft richtig sind, auch in Bezug auf ihre Erfüllbarkeit in Rücksicht auf das Gesetz der Erhaltung der Energie kein Hindernis entgegen. Die Gruppierung der Stoffe auf der linken Seite der Gleichungen repräsentiert mehr chemische Spannkraft als auf der rechten Seite, ein Beweis für die Möglichkeit der durch die Gleichungen ausgedrückten chemischen Umsetzungen.

Ganz anders verhält es sich beim Umdrehen dieser Gleichungen, wodurch die umgekehrten Umsetzungen (Pflanzensäuren in Kohlenhydrate und Pflanzensäuren und Kohlenhydrate in Fette) vorgestellt würden. Die chemischen Gleichungen bleiben natürlich beim Vertauschen der linken und rechten Seite als Gleichungen richtig. Ob aber der durch die neue Anordnung angedeutete Übergang sich bewerkstelligen lässt, ist eine andere, hiervon unabhängige Frage. Da durch den vorhin betrachteten Übergang Kräfte frei werden, so lässt sich ohne weiteres behaupten, dass beim entgegengesetzten Umsatz Kräfte werden gebunden werden müssen, Kräfte, die nicht in jeder Pflanzenzelle zur Verfügung stehen, und zu deren Anspannung es eines besonderen Apparats, wie des der chlorophyllhaltigen Zelle, bedarf.

Da wir nun aber den letzterwähnten Umsatz in der Pflanze unabhängig von dem Vorhandensein chlorophyllhaltiger Zellen häufig wahrnehmen, wie z. B. bei der Bildung eines fetthaltigen Samens, dessen Fett wir in den meisten Fällen unbestreitbar indirekt aus den Stärkeeinschlüssen des Chlorophylls herleiten müssen, und das auch in Form von Stärke bis an den Samenbehälter auf der Wanderung sich verfolgen lässt, so kann der in Rede stehende Reduktionsprozess nicht einfach durch die Umkehrung obiger Gleichungen versinnbildlicht werden; denn diese Gleichungen würden in Hinsicht der chemischen Spannkraft zu Gunsten der rechten Seite Ungleichungen sein, wodurch die Reaktion ohne geeigneten Kraftbindungsapparat zur Unmöglichkeit wird. Wir müssen daher den entgegengesetzten Übergang durch andere Gleichungen versinnbildlichen, denen sich ein solcher Vorwurf nicht machen lässt.

$$C_{x''}\,H_{2y''}\,O_{y''+z''} = C_x\,H_{2y}\,O_y + \frac{z''}{2}\,CO_2$$

$$\text{für } y'' = y,\ x'' = x + \frac{z''}{2}$$

wäre eine solche Gleichung für den Übergang von Pflanzensäuren in Kohlenhydrate, die vielleicht*) diesen Anforderungen genügt, wenigstens kennen wir analoge Übergänge für Kohlenhydrate in fettartige oder wenigstens stark reduzierte Körper, wobei noch chemische Spannkraft frei wird, nämlich der Zerfall von Zucker in Alkohol und Kohlensäure unter dem Einflusse der lebenden Zellen der Bierhefe nach der Formel:

$$C_6\,H_{2\cdot 6}\,O_6 = C_4\,H_{2\cdot 6}\,O_{6-4} + \frac{4}{2}\,CO_2$$

nach dem allgemeinen Schema:

$$C_x\,H_{2y}\,O_y = C_{x'}\,H_{2y'}\,O_{y'-z'} + \frac{z'}{2}\,CO_2$$

$$\text{für } x = x' + \frac{z'}{2},\ y = y'.$$

*) Vergl. übrigens die zehnte Vorlesung, wo von dem hypothetischen Übergang von Pflanzensäuren in Zucker beim Reifen der Früchte die Rede ist.

Das heisst also mit andern Worten: *Soll in einem beliebigen Pflanzenteil, in welchem keine Kraftquelle zur Leistung von chemischer Arbeit zur Verfügung steht, ein Reduktionsprozess stattfinden, so kann ein solcher stets nur in einer partiellen Reduktion mit gleichzeitiger partieller Oxydation bestehen*, da nur auf diese Weise dem Postulat genügt werden kann, *dass keine Vermehrung der chemischen Spannkräfte eintritt**). Dies gleichzeitige Oxydationsprodukt scheint in der Regel Kohlensäure zu sein, wegen der in dieser Verbindung so vollkommenen Ausgleichung der chemischen Spannkräfte. Es steht jedoch nichts im Wege, dass bei solchen Umsetzungen gleichzeitig auch andere relativ hoch oxydierte Verbindungen, z. B. in manchen Fällen Oxalsäure, entstehen, und will ich nur an die bei der alkoholischen Gärung neben Kohlensäure auftretende Bernsteinsäure erinnern.

Diese in der lebenden Pflanze fortwährend vor sich gehenden Stoffumwandlungen können also nur vor sich gehen unter vorwiegender *Sauerstoffaufnahme oder Kohlensäureabgabe*, je nachdem oxydiertere oder reduziertere Stoffe Entstehung nehmen. Dieser Gasaustausch — und mit demselben werden wir uns in der folgenden Vorlesung eingehend beschäftigen — findet nun wirklich im lebenden Pflanzengewebe fortwährend statt und kann überall da, wo der entgegengesetzte Prozess (der nur in der chlorophyllhaltigen Zelle unter Mitwirkung des Sonnenlichts stattfindet) in den Hintergrund tritt, experimentell nachgewiesen werden. Derselbe stellte offenbar in seiner Gesamtheit einen wahren Verbrennungsprozess dar; denn er erfolgt nicht bloss unter stetigem Verlust an chemischen Spannkräften, sondern er ist auch, wenn wir z. B. ein Kohlenhydrat in ein Fett und dann wieder dieses Fett in das ursprüngliche Kohlenhydrat verwandeln, als eine *einfache vollständige Oxydation* eines Teils des Kohlenhydrats zu betrachten, wobei die Verbrennungswärme dieses Teils ein Maass für die bei beiden Prozessen freigewordenen Spannkräfte vorstellt.

Aus der gemachten Ableitung ist deutlich zu ersehen, eine wie vielfache Umsetzung der organischen Körper ineinander in ganz beliebigen pflanzlichen Geweben mit dem Prinzip der Erhaltung der Kraft in Einklang zu bringen ist. Eine grosse Anzahl von Umsetzungen dieser Art sehen wir in den Pflanzen wirklich vor sich gehen. Ganz bedeutende Oxydationsprozesse finden z. B., wie wir vorhin gesehen, statt bei dem Auskeimen fetthaltiger Samen, wobei stets eine grosse Masse Kohlenhydrate, vorwiegend immer Stärkemehl, aber auch Zucker, Dextrin, Holzfaser entstehen. Aber auch höher oxydierte Körper treten bei der Keimung auf, wie kleine Mengen von Essigsäure, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass alle Pflanzensäuren solchen Oxydationserscheinungen ihre Entstehung verdanken; wenigstens berechtigt kein experimenteller Nachweis zu der Annahme der Entstehung dieser sauerstoff-

*) Aus dieser Betrachtung geht gleichzeitig hervor, dass die Oxydation nicht auf umgekehrte Weise, d. h. durch Aufnahme von Kohlensäure oder relativ hoch oxydierter Körper geschehen kann, denn hierdurch würde ja — mit Sicherheit in den bekannten Fällen — chemische Spannkraft entstehen, was unserer Annahme zuwiderläuft. — Ähnliche Betrachtungen lassen sich nun auch für die allerdings weit geringeren Affinitäten des Wassers (zu dem nach Abzug desselben bleibenden Rest der organischen Verbindung) anstellen, und wirklich ist dementsprechend der Übergang der Kohlenhydrate in wasserreichere viel leichter auszuführen als der umgekehrte Übergang.

reichen Verbindungen durch direkte Produktion aus anorganischem Material in der chlorophyllhaltigen Zelle.

Von Reduktionserscheinungen in der lebenden Pflanze, die an dieser Stelle zu besprechen wären, ist mit Sicherheit nur der Übergang von Kohlenhydraten in Fette bekannt, bei Bildung ölhaltiger Samen oder Anlegung anderer fetthaltiger Reservestoffbehälter in Pflanzen, in deren Chlorophyll nur Stärkemehleinschlüsse beobachtet werden konnten*). Ein Übergang von Pflanzensäuren in Kohlenhydrate ausserhalb der chlorophyllhaltigen Zelle ist nicht wahrgenommen, und innerhalb derselben, nachgewiesen an Crassulaceen und anderen dickblättrigen Pflanzen, gehört er in ein anderes Kapitel**).

Den Fetten scheint als solchen übrigens trotz ihrer Umwandlungsfähigkeit in Kohlenhydrate eine geringe Wanderungsfähigkeit zuzukommen***). Dieselben scheinen in der That im stande zu sein, unter gewissen Umständen die Zellhaut zu durchdringen; aber *in der Regel* findet doch augenscheinlich die hauptsächliche Stoffwanderung der stickstofffreien organischen Substanz als Stärkemehl, resp. Zucker, d. h. also in der Form von Kohlenhydraten statt und erst am Ende des Wegs tritt die Verwandlung in diejenigen Stoffe ein, die an der betreffenden Stelle verbraucht oder aufgespeichert werden sollen. Das Gleiche gilt aber selbst für eine Reihe von löslichen Kohlenhydraten, für Inulin, Rohrzucker, die als Reservestoffe in gewissen Pflanzen dienen, während es für die unlösliche Cellulose selbstverständlich ist. Für die Pflanzensäuren sind dagegen diese Wechselbeziehungen mit den Kohlenhydraten wie überhaupt ihre Funktionen in der Pflanze noch mehr im Unklaren.

Aus dem allem geht hervor, dass wir mit der Betrachtung der Wanderung des Stärkemehls eigentlich schon die Betrachtung für die Wanderung der gesamten stickstofffreien organischen Substanz erledigt haben, denn dieselbe scheint auf grössere Strecken beinahe ausnahmslos in der Form von Stärkemehl zu geschehen†). Es ist auch bei der besprochenen erfahrungsmässig so weitgehenden Umwandlungsfähigkeit gar nicht abzusehen, welcher Nutzen in einer vollkommeneren Transportabilität der übrigen stickstofffreien organischen Substanzen liegen könnte.

Mit den nun erlangten Kenntnissen über Stoffwanderung und Stoffmetamorphose — wenn dieselben uns auch keinen irgendwie zureichenden Aufschluss verschaffen

*) Sehr deutliche Fälle von Bildung von Fetten auf Kosten von Kohlenhydraten in der Pflanze sind ferner noch: Das Auftreten von Öltröpfchen und gleichzeitiges Verschwinden von Stärkeeinschlüssen in vielen Algen nach der Kopulation, der Gehalt unreifer Oliven an Mannit, an dessen Stelle später Öl auftritt etc. Freilich ist keine der gemachten Beobachtungen der Art, dass der Übergang von Kohlenhydraten in Fette ein ganz direkter zu sein brauchte, und ist also nicht ausgeschlossen, dass die Fette unmittelbar aus anderen Stoffen, z. B. manchmal aus den Proteïnstoffen, hervorgehen. Aber selbst für diese verwickelteren Fälle bleiben die im Texte vorgetragenen Anschauungen noch richtig.

**) Vorlesung IV, p. 62.

***) Vergl. J. Sachs: Handbuch d. Experim.-Phys. d. Pfl., p. 378. Über die Ursache dieser Erscheinung vergl. auch Schumacher: Die Ernährung der Pflanze, 1864, p. 273.

†) Von den Gewebeformen, in denen die Wanderung des Stärkemehls und anderer organischer Substanzen sich vollzieht, soll später beiläufig die Rede sein.

über die chemischen und physikalischen Ursachen dieser Wanderung — gelangen wir nun zu einer ziemlich deutlichen Vorstellung über die Bedeutung der organischen Substanz im Pflanzenleben und die physiologische Tendenz der Wanderungsrichtung derselben. Wir sind, ausgerüstet mit denselben, im stande, die Hauptzüge des Werdens und Vergehens eines pflanzlichen Organismus unserem Verständnis nahezubringen. —

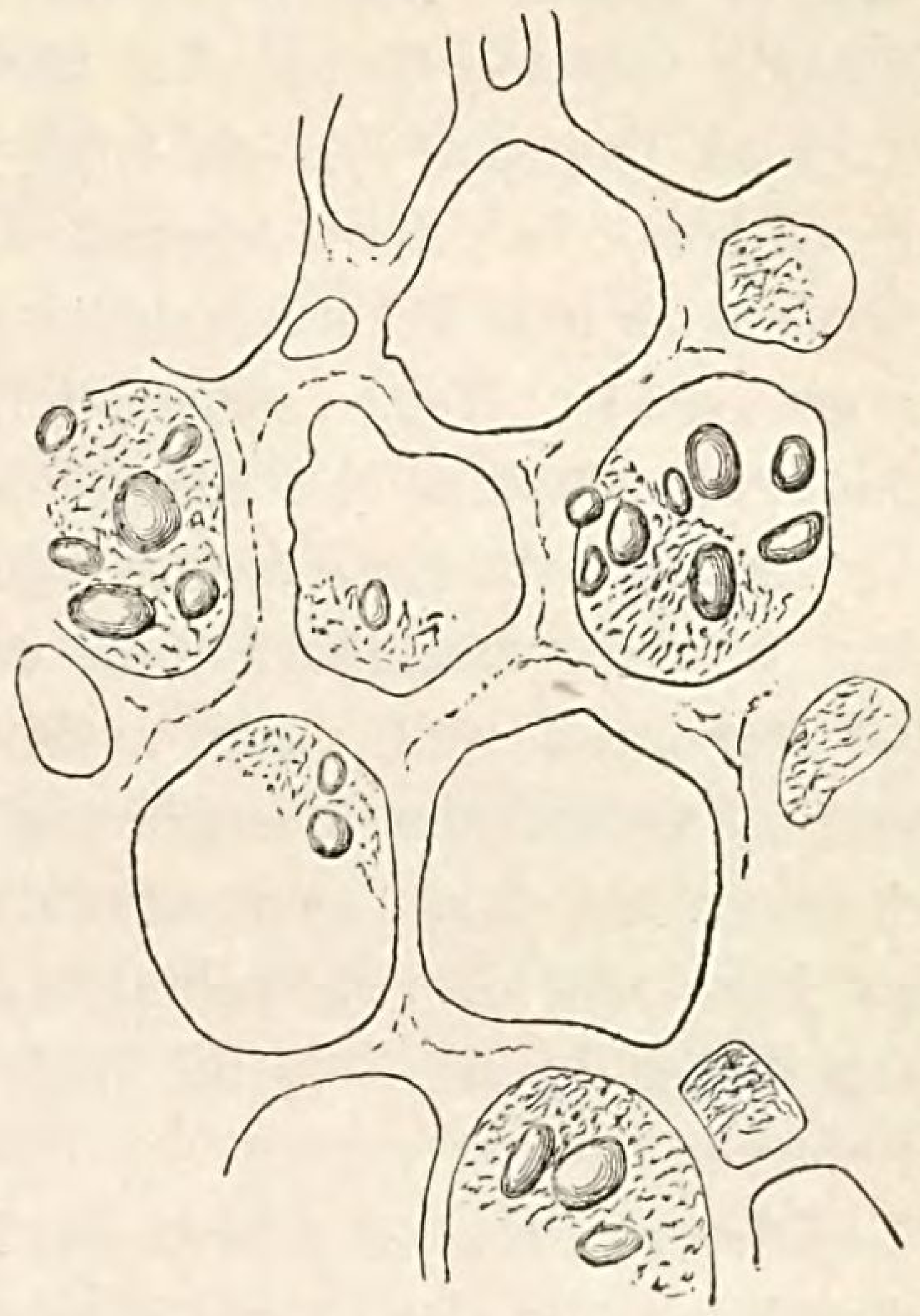


Fig. 5a. — Durchschnitt durch noch halbgefüllte Kotyledonen der Erbse.

Ein keimfähiger Same fällt auf das fruchtbare Erdreich, wo die Bedingungen seiner Entfaltung (die wir hier noch nicht alle zu kennen und zu berücksichtigen brauchen) in vollem Maasse vorhanden sind. Der Same ist *gleichzeitig ein entwickelungsfähiger Organismus und ein Reservestoffbehälter;* — in gewissen Teilen des ihm angehörenden Gewebes, in dem Endosperm oder den Kotyledonen, sind organische Stoffe, Stärkemehl oder Öl und andere Stoffe, dichtgedrängt zusammengehäuft. Der Same keimt, d. h. erwacht aus seinem totenähnlichen Zustand, bildet eine Reihe von Organen und wird der Sitz von lebhaften Vegetationsprozessen. Zur Bildung der neu sich entfaltenden Organe sind die Baustoffe derselben notwendig. Diese sind im wesentlichen, soweit sie aus organischer Materie bestehen, Zellstoff und die Bestandteile des Protoplasmas und leiten mit Notwendigkeit ihre direkte oder indirekte Abkunft von jenen Reservestoffen her, die in dem Maasse, als sich die neuen Organe ausbilden und vermehren, verschwinden. Vergl. Fig. 5a und b, wodurch das successive Verschwinden des Stärkemehls aus den Kotyledonen keimender Erbsen deutlich wird. Die Stärke ist verflüssigt worden und nun in Form von Zucker in dem Zellsafte enthalten, und der an diesem Stoffe reiche Zellsaft scheidet wiederholt auf seinem Wege zu den sich entfaltenden Organen Stärkekörner ab, die aber wieder unter Erleidung der entgegengesetzten Umwandlung in einem späteren Zeitmomente gelöst werden und schliesslich zur Bildung der Zellhaut an die Orte des Wachstums und der Neubildung gelangen. Dieser Prozess geht alsdann in gleicher Weise kürzere oder längere Zeit fort und ist in seiner Dauer abhängig von der Menge der aufgespeicherten organischen Stoffe. Sind diese als Baumaterial verbraucht und die aus dem Keime entstandene Pflanze hat bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Fähigkeit erlangt, im Lichte selbst organische Substanz zu erzeugen, d. h. sind die chlorophyllhaltigen



Fig. 5b. — Durchschnitt durch entleerte Kotyledonen der Erbse.

Organe noch nicht in vollkommener Tauglichkeit entwickelt oder ist keine genügend intensive Lichtquelle vorhanden, so ist auch dem Leben der Pflanze ein Ende gesetzt, sie stirbt, wie wir dies in einem speziellen Falle, an der etiolierten Pflanze, beobachtet haben. Die Dauer dieses Zustandes ist infolgedessen neben andern Dingen abhängig von der Grösse des Reservestoffbehälters des ausgelegten Samens.

Sind dagegen die chlorophyllhaltigen Organe, die Blätter und grünen Stengel — wie dies bei der normalen Entwickelung der Fall ist — bis zur Erschöpfung jenes aus andern Vegetationsperioden aufgespeicherten Vorrats an organischer Materie, in genügender Weise ausgebildet, so beginnt jetzt ein von dem ersten ganz verschiedenes Stadium des Pflanzenlebens. In den chlorophyllhaltigen Zellen entsteht, wie wir uns erinnern, aus anorganischem Material organische Substanz: Stärkemehl oder ein stellvertretender Stoff, und somit ist eine neue Quelle gegeben für den Baustoff der noch weiter sich ausbildenden Organe. Ganz wie früher das Stärkemehl unter abwechselnder Überführung in einen gelösten Stoff und wiedererfolgender Abscheidung aus dem Reservestoffbehälter in die jungen Triebe wanderte, so geschieht dies jetzt mit dem neugebildeten in der chlorophyllhaltigen Zelle vorhandenen, um dann endgültig als Zellstoff in den wachsenden und sich teilenden Zellen abgelagert zu werden.

Dieser Prozess dauert so lange fort, bis die Pflanze — infolge der Einschränkung, die das morphologische Gesetz bedingt — ihr äusserlich wahrnehmbares Wachstum beendigt hat, bis sie (wenigstens fürs erste) aufhört, neue Triebe zu bilden. Nun kann die noch fort und fort unter dem Einflusse des Lichts produzierte organische Substanz nicht mehr als Baustoff in den Neubildungen Verwendung finden; die Wanderungstendenz wird — niemand weiss, aus welcher physikalischen Ursache — wieder eine andere. Die organische Substanz verbleibt auch jetzt nicht in der chlorophyllhaltigen Zelle, dem Orte ihrer Entstehung, sondern wird in ganz bestimmten, aber für verschiedene Pflanzenformen häufig ungleichwertigen Geweben, den mehrgenannten Reservestoffbehältern*), aufgespeichert, einer späteren Entwicke-

*) Streng genommen giebt es freilich auch Orte der Aufspeicherung organischer Stoffe, ohne dass diese später als Reservenahrung dienen können. Ich meine nicht bloss die Anhäufung von organischen Stoffen, die in keiner Wechselbeziehung zu den als Bildungsmaterial für neue Organe dienenden Substanzen, von denen wir handeln, stehen und, dem sogenannten „Rückbildungsprozesse“ angehörend, als Exkremente der Pflanze zu betrachten sind, wie von Harz, Gummi, ätherischen Ölen und mehreren anderen Substanzen, sondern die Aufspeicherung von Kohlenhydraten und anderen als Reservenahrung an sich brauchbaren Stoffen in Gewebeteilen, wo sie niemals als Nahrung einer neuen Vegetationsperiode aufzutreten im stande sind. Dahin gehört namentlich die Anhäufung von zuckerartigen Stoffen in jenen äusseren Hüllen der Samen, die wir im gemeinen Leben als Früchte bezeichnen. Die daselbst niedergelegten organischen Substanzen können, wie leicht ersichtlich, niemals einer neuen Vegetation, dem Keimling, zu gute kommen, auch schon aus dem Grunde nicht, weil dieser äussere Teil fast unter allen Umständen durch Fäulnis zerstört ist, ehe der Same zum Keimen gelangt, und die Tendenz der Pflanze, derartige Ablagerungen zu machen, kann nur ein Resultat der natürlichen Züchtung sein, ist m. a. W. von biologischem, nicht von physiologischem Nutzen, indem durch diese Einrichtung die Frucht als tierisches Nahrungsmittel brauchbarer und angenehmer wird und der Durchgang durch den tierischen Organismus oder die Verschleppung

lung junger Organe in der erst beschriebenen Weise zur Nahrung dienend. Auch hier sind die Reservestoffe wieder je nach den Pflanzen und den verschiedenen Geweben, die als solche Behälter dienen, sehr verschiedene; also auch auf diesem Wege sind Stoffumwandlungen in der mehrfach angedeuteten Weise durchaus unvermeidlich.

Der Same oder vielmehr dem Embryo angehörige oder ihn umgebende Gewebeteile des Samens sind für die einjährigen Gewächse die ausschliesslichen Reservestoffbehälter. Ganz anders aber liegt die Sache bei den mehrjährigen Gewächsen, besonders in den gemässigten und den kälteren Zonen. Bei diesen besitzt das *einzelne Individuum* einen winterlichen Ruhezustand, den es antritt unter Verlust seiner vergänglichsten Organe, um alsdann im Frühjahr sich wieder weiter zu entwickeln und die verlorenen Organe wieder von neuem aus sich heraus zu entfalten.

Zu dieser Neuentwickelung sind, genau wie zu der ersten Entwickelung eines Pflanzenindividuums, organische Stoffe erforderlich, auf Kosten von denen die Neubildung stattfindet, und diese Stoffe müssen durch die Vegetationsthätigkeit der früheren Jahre erzeugt und dann aufbewahrt worden sein.

So finden wir denn, namentlich bei den nicht immergrünen, mehrjährigen Gewächsen auch Reservestoffbehälter in ganz anderen Gewebeteilen als den Samen, und zwar in sehr verschiedenartigen Gewebeteilen der überwinternden Pflanze, aber selbstverständlich immer in einem Dauergewebe, niemals in Blättern, Blüten und den Stengelteilen, die abgeworfen werden. Bei manchen Pflanzen, wie bei den Rüben, ist die Wurzel, bei manchen sind morphologisch anderswertige unterirdische Teile, wie Knollen und Zwiebeln, bei anderen endlich der oberirdische Stamm selbst, das Holz desselben (wenigstens dessen zellige Gewebeformen) Reservestoffbehälter, die sich im Winter mehr oder minder dicht mit Stärkemehl oder einem physiologisch gleichwertigen Stoffe angefüllt zeigen, um im Frühjahr der Neubildung der Organe die nötigen organischen Stoffe darzubieten und so aus dem Winterlager zu verschwinden. Die Anhäufung in diesen verschiedenartigen Behältern ist für die mehrjährigen Gewächse ein genaues Analogon zu jener Ablagerung des Bildungsmaterials in der Nähe des Keimlings bei den einjährigen, mit jedem Frühling aufs neue aus dem Samen sich entwickelnden Gewächsen.

In diesem Zusammenhange wird uns erst die ganze Ausdehnung des Prozesses der Stoffwanderung im Verein mit der Umbildung der organischen Stoffe in ihrer Bedeutung für das Pflanzenleben verständlich. Wir vermochten schon mit den wenigen Kenntnissen, die wir uns über die Ernährungsprozesse der Pflanzen bis jetzt angeeignet haben, in den Hauptzügen ein ziemlich klares Bild uns vorzuführen von den Grunderscheinungen des Haushalts dieser Organismen.

durch denselben manche Vorteile für die Samen im Kampfe ums Dasein bieten mag. Übrigens wird auch die düngende Wirkung der verfaulten Frucht für den aus dem Samen sich entwickelnden Keimling von Vorteil sein können.

BAYERISCHE STAATS- BIBLIOTHEK MUENCHEN

Siebente Vorlesung.

Die Pflanzenatmung. — Beziehung der Stoffwandlung zur Atmung.

Wenn man in früherer Zeit von Atmung der Pflanzen sprach, so verstand man unter dieser Bezeichnung den unter Einfluss des Sonnenlichts stattfindenden Prozess der Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabgabe. Heutzutage versteht der Pflanzenphysiologe nach dem Vorgang Garreau's*) unter *Atmung der Pflanzen* ausschliesslich *einen der tierischen Atmung wesentlich analogen Prozess.* Er zeigt uns, wie die Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabgabe ein Vorgang ist, der im Reiche der chlorophylllosen Organismen kein Analogon hat, wie der Vergleich dieses Prozesses mit der tierischen Atmung nur den Gasaustausch zum tertium comparationis hat und durchaus ungereimt ist. Wir haben in den früheren Vorlesungen ja wiederholt die Thatsache betont, dass bei dem Prozesse, der in der chlorophyllhaltigen Zelle im Lichte unter Sauerstoffabscheidung vor sich geht und den man früher als Atmung der Pflanzen bezeichnete, eine chemische Arbeit geleistet wird. Die tierische Atmung dagegen ist ein Oxydationsprozess, bei dessen Verlauf chemische Kräfte verloren gehen. Wir haben es also in dieser letzteren mit einer Erscheinung zu thun, die in jener wichtigen Beziehung gerade das Umgekehrte ist von dem früher unzweckmässigerweise als Pflanzenatmung bezeichneten Vorgang.

Alle**) Pflanzen unterhalten in der That, abgesehen von dem Gasaustausch, mit dem wir uns in den früheren Vorlesungen so eingehend beschäftigt haben, noch einen andern Gasaustausch, der gerade so wie die Atmung der Tiere in *der Aufnahme von Sauerstoff und der Ausgabe von Kohlensäure* besteht. Dieser Gasaustausch ist zudem für die Erhaltung der Pflanzen genau so unentbehrlich wie der gleiche Vorgang beim Tiere***). Die Pflanzen haben gerade wie die Tiere zu ihrem Leben Sauerstoff absolut notwendig.

Der ausgesprochene Sachverhalt lässt sich durch das Experiment leicht darlegen. Schliessen wir eine Pflanze vom Zutritt des Sauerstoffs vollständig ab, bringen wir sie in ein indifferentes Gas, das nachgewiesenermaassen an sich keinerlei Schädigung herbeiführen kann, z. B. in Wasserstoff oder Stickstoff, so hören zuerst die charakteristischen Lebenserscheinungen, Protoplasmaströmung und die vielen Pflanzen eigentümliche selbständige Bewegung nach einem Reize auf. Dauert eine solche Ab-

*) Vergl. namentlich Annal. d. sciences natur. 1851. Botan. p. 392.

**) Die nach dieser Ausdrucksweise bestehenden Einschränkungen werden sich später dem Sinne des Vorgangs nach als scheinbare ergeben.

***) Als Entdecker der Atmung der Pflanze muss unstreitig Ingen-Housz betrachtet werden. Derselbe sprach schon im Jahre 1779 in der Vorrede seines früher angeführten Buches (Versuche mit Pflanzen, deutsch Wien 1786) aus, er habe entdeckt, „dass überhaupt alle Pflanzen die sie umgebende Luft in der Nacht und sogar mitten am Tage im Schatten verderben", „Wurzeln den nämlichen schädlichen Einfluss auf die Luft haben" etc.

BAYERISCHE STAATS- BIBLIOTHEK MUENCHEN

sperrung vom Sauerstoff längere Zeit, so kehren auch die genannten Lebenserscheinungen nach Zutritt des Sauerstoffs nicht wieder zurück; die Pflanze stirbt unter solchen Umständen genau wie das Tier den Erstickungstod*).

Wir können indessen nicht bei der einfachen Behauptung dieser Thatsache stehen bleiben. Es wird vielmehr unsere Aufgabe sein, auf den Charakter derjenigen

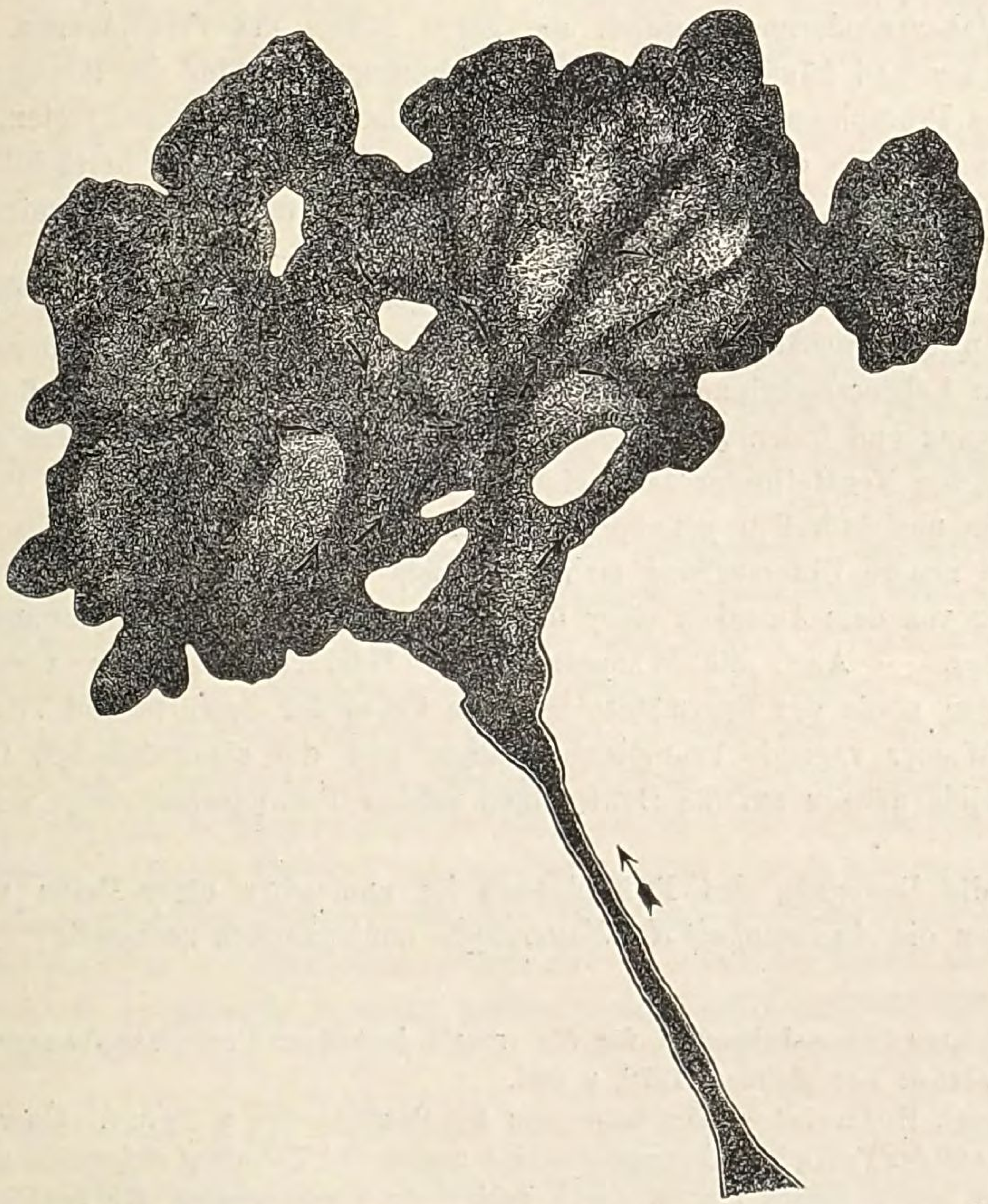


Fig. 6. — Plasmodium von Didymium Serpula (nach Hofmeister). Die Pfeile deuten die Strömungsrichtungen an.

physiologischen Prozesse, welche der Sauerstoffzufuhr bedürfen und durch Abschluss von diesem Gase so sehr beeinträchtigt werden, dass der Tod der Pflanze erfolgen kann, etwas näher einzugehen. Nur auf diese Weise wird es möglich sein, die Belege im einzelnen kennen zu lernen, welche wir für die Notwendigkeit der Pflanzenatmung besitzen.

*) Auch Stickoxydul vermag (eigentlich selbstverständlich) in dieser Funktion den freien Sauerstoff nicht zu ersetzen. Vergl. Detmer: Landw. Jahrb. 1882, p. 213, und Moeller: Ber. d. deutsch. botan. Gesellschaft, 1884, p. 35.

Zu den charakteristischsten Lebenserscheinungen einer Pflanze gehören unstreitig die *Bewegungsvorgänge des Protoplasmas.* Die Protoplasmabewegung ist am besten einer Strömung vergleichbar und wird auch geradezu als eine solche bezeichnet. Man unterscheidet zweierlei solcher Bewegungen: rasche Strömungen, die nie lang andauern, bei ihrem Entstehen nach hinten um sich greifen und sich nur auf strangförmige Partieen des protoplasmatischen Zellinhalts erstrecken, und ausserdem: langsame Gestaltsveränderungen durch die ganze Masse des Protoplasmas. Ein sehr zweckmässiges und häufig benutztes Beobachtungsmaterial für die Bewegungserscheinungen des Protoplasmas sind die nackten Plasmodien der Myxomyceten, z. B. von *Didymium Serpula* oder *Aethalium septicum,* die häufig eine beträchtliche Grösse (bei *Didymium* und einigen anderen die Grösse von mehreren Quadratcentimetern) erreichen *).

Diese merkwürdigen Strömungserscheinungen, mit deren weiterem Studium wir uns hier nicht beschäftigen werden, stehen in der innigsten Beziehung zu allen wichtigeren Lebenserscheinungen der Pflanzen. Alle Vorgänge der Zellteilung, der Zellverjüngung und freien Zellbildung, eine jede geschlechtliche Erscheinung, kurz die wichtigsten Vegetationsprozesse einer lebenden Pflanze scheinen an Protoplasmabewegungen unabänderlich geknüpft; und es wird der Beweis für diese Thatsache durch jede neuere Untersuchung mehr und mehr vervollständigt. Fig. 6 giebt eine Vorstellung von dem Aussehen einer in Bewegung begriffenen Protoplasmamasse eines Schleimpilzes. — Auch die Wimpern**) der Schwärmsporen der verschiedensten Kryptogamen sowie der Spermatozoïden, die Cilien der Spirillen und Vibrionen sind freie ins Wasser ragende Protoplasmastränge, und die eigentümlichen Bewegungen dieser Gebilde müssen auf die Bewegungen solcher Protoplasmastränge zurückgeführt werden.

Für die Bewegung des Protoplasmas ist nun neben einer Reihe von andern Bedingungen die *Anwesenheit des Sauerstoffs* unumgänglich notwendig***). Bringen

*) Feinere Unterscheidungen für die verschiedenartigen Protoplasmabewegungen finden sich bei Velten: Bot. Zeitung, 1872, p. 645.

**) Vergl. Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle, p. 28 u. f. Über die eigentliche *Mechanik* der Protoplasmabewegungen sind mancherlei Theorieen aufgestellt worden. Die plausibelsten laufen daraus hinaus, durch *periodische Veränderungen der Imbibitionsfähigkeit für Wasser* die Strömungserscheinungen des Protoplasmas zu erklären und dabei die Veränderung der Imbibitionsfähigkeit des Protoplasmas auf chemische Veränderungen desselben, eingeleitet durch den Sauerstoff, zurückzuführen. Wenn die organischen Substanzen, die in dem Protoplasma enthalten sind, einer Oxydation durch den atmosphärischen Sauerstoff leicht zugänglich wären — und die Vorgänge der Atmung zwingen uns, diesen Schluss zu machen —, so würde offenbar eine veränderte Imbibitionsfähigkeit des chemisch veränderten Protoplasmas eine sehr natürliche Annahme sein. Dann wäre also nur noch erforderlich, dass eine solche Oxydation an gewissen Punkten des Protoplasmas zuerst begänne (was eigentlich eine durchaus selbstverständliche Annahme ist), um die Erscheinung der Protoplasmaströmung unserem Verständnis nahe gebracht zu sehen. Dass sehr erhebliche, dem Schwärmen bewimperter Sporen nicht unähnliche Bewegungen auf osmotische Strömungen zurückgeführt werden müssen, zeigt der hübsche Versuch Schumachers (vergl. dessen Physik d. Pflanze, 1867, p. 153).

***) Von Kühne nachgewiesen (Untersuchung über d. Protoplasma; Leipzig 1864, p. 88 u.f.).

wir Zellen mit lebhaft strömendem Protoplasma unter Öl oder unter luftfreies Wasser, so hört die Strömung des Protoplasmas nach kurzer Zeit auf, wie man leicht beobachten kann, wenn man solche Zellen unter dem Mikroskope betrachtet (wozu natürlich eine eigentümliche Vorrichtung desselben gehört), um wieder einzutreten bei Zuführung von Sauerstoff, es sei denn, dass die Zelle durch ein längeres Verweilen in den ungünstigen Bedingungen des Abschlusses vom Sauerstoff völlig getötet worden ist. — Genau das Gleiche tritt ein, wenn man den Sauerstoff auf die Weise ferne hält, dass man die Zelle in eine Atmosphäre von an sich unschädlichen Gasen, Wasserstoff oder besser Stickstoff, bringt.

Gleichzeitig hat man nun stets beobachtet — und dies ist eine Thatsache von grosser Wichtigkeit —, dass Pflanzenteile mit Zellen von reichlichem Protoplasmagehalt stets Kohlensäure in erheblichen Mengen ausscheiden, und hierdurch wird also die wahre Atmung (der tierischen durchaus analog) des lebenden und sich bewegenden Protoplasmas in einem weiteren und charakteristischen Merkmal festgestellt*). Endlich hat man (wiederum ganz analog der tierischen Atmung) Wärmeentwickelung an solchen protoplasmareichen atmenden Pflanzen beobachtet, wenn auch meistens nicht bis zu Temperaturhöhen, wie sie infolge der tierischen Atmung gewöhnlich sind.

Die Thatsache, dass die Beweglichkeit des Protoplasmas abhängig ist von der Sauerstoffzufuhr, dass hierbei gleichzeitig Kohlensäure entsteht und Wärme entbunden wird, steht also völlig fest. — Was wollen wir noch mehr? — Sauerstoffaufnahme — Kohlensäureabgabe — Entstehung von Bewegung und Wärme: alle Charakteristika der Atmung und die Effekte derselben wie beim Tiere. Das Protoplasma ist wie der Muskel des Tieres ein kontraktiler Körper, der wie dieser durch Oxydation zur Bewegung befähigt wird, mit dem einzigen (sehr unwesentlichen) Unterschiede, dass im letzteren Fall das sauerstoffreiche Blut, anstatt des direkten Sauerstoffs, die Oxydation der Substanz besorgt. Bewegung entsteht in beiden Fällen, wenn auch Bewegung von sehr verschiedener Art; ein Teil der Kraft, der durch die Verbrennung von organischer Substanz geliefert wird, geht hier wie dort direkt in Wärme über**).

*) Das Wasser, welches natürlich bei der Oxydation der organischen Substanz neben Kohlensäure entstehen muss, kann wegen des ohnehin schon grossen Wassergehalts aller lebenden Pflanzenteile natürlich nicht wahrgenommen werden.

**) Trotz diesen entscheidenden Beobachtungen ist die Existenz einer Atmung in dem erläuterten Sinne von Liebig (vergl. dessen Chemie in ihrer Anw. auf Agrik. u. Phys., 1862, I, p. 34) geleugnet worden — eine Thatsache, die bei der Bedeutung dieses grossen Chemikers für die physiologischen Wissenschaften nicht verschwiegen werden darf. Derselbe suchte die nicht zu bestreitende Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe auf einen rein zufälligen Vorgang der Oxydation, wie er ebenso gut in einem toten Stücke Holz als in der lebenden Pflanze sich vollziehe, zurückzuführen. — Es ist natürlich nicht zu bestreiten, dass ein Teil der von der Pflanze ausgehauchten Kohlensäure von solch zufälligen Oxydationserscheinungen herrühren, auch von der Pflanze aus dem Boden aufgenommen sein kann; aber der Beweis, dass dennoch ein für die Pflanze notwendiger Atmungsprozess in dem von uns erläuterten Sinne besteht, liegt eben nicht in der einfachen Beobachtung eines derartigen Gasaustauschs, sondern in der

Das Protoplasma ist ein kontraktiler eiweissartiger Körper, der gerade wie der tierische Muskel in seiner Bewegung abhängig ist von einer in ihm stattfindenden Verbrennung, von einer Zuführung von Sauerstoff. Auf diese Art haben wir uns also auch die Bewegung der Schwärmsporen entstehend zu denken, und vielleicht ist der Bewegungsapparat der niedrigsten Tierformen auf ähnliche Weise eingerichtet, so dass wir es gleichsam in solchen Protoplasmasträngen unter anderem mit dem ersten Anfang zu einer Organisation, wie wir sie beim höheren Tiere in dem zu so komplizierten Funktionen befähigten Muskelapparat kennen, zu thun haben*).

Auch diese Anschauung führt uns wieder zu einem Gesichtspunkte, zu dem wir noch öfters uns gedrängt sehen werden, dass die tierischen Funktionen**), wenn auch in viel grösserer Einfachheit, sich in dem Pflanzenreiche wiederholen, während die wichtigen Vorgänge in der chlorophyllhaltigen Zelle den Pflanzen eigentümlich und vom Tierreiche ausgeschlossen sind. So ist allein die chlorophyllhaltige Pflanze ein von allen anderen Organismen völlig unabhängiges Geschöpf, welches die verschiedensten Funktionen in sich vollzieht, während das Tier, wegen seiner einseitigen Thätigkeit, unter allen Umständen die Existenz der grünen Pflanze voraussetzt.

Aus dem vorhin Gesagten geht hervor, dass namentlich auch die Wachstumserscheinungen innig an gewisse Vorgänge im Protoplasma geknüpft sind, und da diese abhängig sind von einem Oxydationsvorgang, so werden wir auf eine nahe Beziehung der Sauerstoffaufnahme oder der Atmung zu solchen Wachstumsvorgängen schliessen können***). Die Annahme solcher Beziehungen wird bestätigt durch die Betrachtungen über die Bedingungen der Stoffumsetzungen am Schlusse der vorigen Vorlesung. Keine Keimung, kein Wachstum ist möglich ohne dergleichen Stoffumsetzungen und diese sind vielfach verknüpft an Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausgabe.

Dergleichen Beziehungen sind nun auch in der That reichlich experimentell festgestellt worden. Bringt man z. B. keimungsfähigen Pflanzensamen in Wasser, das vorher durch Auskochen von Luft befreit ist, und verhindert den neuen Zutritt der atmosphärischen Gase, so tritt wohl Quellung, aber keine Keimung ein, und war der

Konstatierung der Thatsache, dass die Pflanze nicht ohne freien Sauerstoff zu existieren vermag. Dadurch manifestiert sich der blosse Oxydationsprozess als ein physiologischer Prozess.

*) Vergl. über diesen Gegenstand auch Kühne: Physiol. Chemie, 1868, p. 333.

**) Schon Dumas und Boussingault sprechen in ihrer „Statique des êtres organisés" im Jahre 1841 aus, „qu'à certaines époques, dans certains organes la plante se fait animal; „qu'elle devient comme l'animal, appareil de combustion; qu'elle brûle de carbone et de l'hy„drogène; qu'elle produit de la chaleur; que le sucre, ou l'amidon converti en sucre, sont les „matières premières au moyen desquelles elle développe cette chaleur". Vergl. Compt. rend. 1864, T. 58, p. 921; ohne freilich zu erkennen, dass ähnliche Prozesse fortwährend in der Pflanze unterhalten und nur von andern Vorgängen, die das Entgegengesetzte bewirken, verdeckt werden. Am eingehendsten ist neuerdings der Vergleich von pflanzlichen und tierischen Funktionen durchgeführt durch E. Schulze in einem Vortrage (Separatabdr. aus der Vierteljahrsschrift der Naturforsch.-Gesellsch. in Zürich, 39, Heft 3, 1894).

***) In Bezug auf die Theorie des Zusammenhangs zwischen Sauerstoffbedürfnis und dem Wachsen von Pflanzenteilen hat zuerst Traube eine tiefsinnige Bemerkung gemacht. Vergl. Berliner akadem. Berichte, 1859, p. 83.

Same schon in Keimung begriffen, so bleibt derselbe in dem Zustande, in dem er sich gerade befindet, bis er schliesslich verdirbt.

Man hat zwar anfangs aus der Thatsache, dass Pflanzensamen unter Wasser keimen, den Schluss gezogen, dass dieselben zu diesem Prozesse des Sauerstoffs nicht bedürftig seien, ohne freilich zu bedenken, dass das Wasser, wenn man keine besonderen Maassregeln anwendet, stets sauerstoffhaltig ist, da es sich mit den atmosphärischen Gasen sättigt. War indessen der Sauerstoff völlig entfernt, und wurde das Wasser so mit dem Samen in Stickgas gebracht, so trat unter keinen Umständen Keimung ein. Ganz dasselbe gilt nun auch für alle andern im Wachstum und in der Entfaltung begriffenen Pflanzenteile. — Man hat wiederholt mit dem gesunden Stengel noch in Verbindung stehende *Blumenknospen* und *Blattknospen* vom Sauerstoff abgeschlossen sich selbst überlassen und ausnahmslos beobachtet, dass dieselben unter solchen Umständen auf der Entwickelungsstufe, auf der sie sich gerade befinden, verharren, ohne die Fähigkeit zu besitzen, sich weiter zu entfalten, bis sie schliesslich durch Fäulnis zu Grunde gehen.

Auch war man im stande nachzuweisen, dass Pflanzenorgane in der Jugend, d. h. im Stadium des Wachstums und der Entfaltungsfähigkeit, stärker atmen als im höheren Alter. Schon de Saussure*) hat vergleichungsweise den Sauerstoffverbrauch grüner Organe im Dunkeln festgestellt und dabei z. B. folgende Resultate erzielt:

Blätter der	Vegetationsstadium	Sauerstoffmenge von der Gewichtseinheit des Blattes verbraucht
Vicia faba	vor der Blüte	3,7
	während der Blüte	2,0
	nach der Blüte	1,6
Brassica oleracea	junge Blätter	2,4
	alte Blätter	2,0.

In gleicher Weise sind die allbekannten gemeinen Schimmelarten in ihrer Entwickelung vom Sauerstoff abhängig; dieselben hören auf zu wachsen, wenn man sie in einen Behälter mit Stickgas bringt. Wir sehen also auch hieraus wieder, dass in Bezug auf diese Vorgänge kein Unterschied besteht zwischen chlorophylllosen und chlorophyllführenden Pflanzen.

De Saussure hat auch schon das Verhalten der *grünen* Pflanze im Lichte in Hinsicht auf ihren Sauerstoffbedarf geprüft. Es konnte dies natürlich nicht geschehen, während der der Atmung entgegengesetzte Prozess der Reduktion und Sauerstoffentbindung vor sich ging, denn dieser musste nicht allein jenen andern vollständig verdecken, sondern auch durch die reichliche Sauerstoffabscheidung die Bedingungen schaffen für den Atmungsprozess, dessen Unentbehrlichkeit nur bei Ausschluss dieses Elementes geprüft werden konnte. — Die scheinbar unüberwindliche Schwierigkeit

*) Recherches s. l. végétation, 1804, p. 101, später durch Kreusler an Philadelphustrieben bestätigt (Landw. Jahrb., 1887, p. 711), ebenso durch Heinrich (2. Bericht über die Versuchsstation zu Rostock, 1894, p. 165). Über den Einfluss von Verletzung auf die Atmung hat Stich (Dissertation, Marburg 1890) einige lehrreiche Beobachtungen mitgeteilt.

wusste jedoch der genannte grosse Physiologe auf eine sehr einfache und sinnreiche Weise zu umgehen*).

Wenn eine grüne lebensfrische Pflanze in einer Atmosphäre von reinem Stickstoff dem Lichte ausgesetzt wird, so wird sie die in ihrem Gewebe vorhandene Kohlensäure unter Ausscheidung von einer entsprechend kleinen Menge von Sauerstoff zersetzen. Durch die Atmung der Pflanze, die namentlich bei Nacht, bei Lichtabschluss in den Vordergrund treten muss, wird nun umgekehrt wieder dieser Sauerstoff konsumiert und Kohlensäure dafür ausgegeben. In dieser Abgeschlossenheit ist also der eine Prozess ganz und gar von dem Stattfinden des andern bedingt. — Die Pflanze kann fortdauernd organische Substanz produzieren; trotzdem ist ihr es aber natürlich nicht möglich, ihr Gewicht zu vermehren, weil sie nur auf Kosten der Kohlensäure, durch ihre eigene Atmung erzeugt, die Produktion vollzieht, also gleichsam von ihrem eigenen Fleisch und Blute lebt. — Das Wasser können wir nämlich als Produktionsmaterial wie als Verbrennungsprodukt bei allen diesen Betrachtungen vernachlässigen. — Umgekehrt kann der Atmungsprozess nur deshalb dauernd erhalten werden, weil fortwährend Sauerstoff durch die Produktionsthätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle erzeugt wird. Eine Pflanze kann längere Zeit in diesem stationären Zustande verharren, bis sie endlich durch Verbrauch ihres Nährstoffvorrats zu Wachstumszwecken zu Grunde geht.

Der sinnreiche de Saussure'sche Versuch bestand nun darin, dass der Experimentator einer solchen Pflanze die Kohlensäure vorenthielt, dadurch, dass er kaustischen Kalk in den abgeschlossenen Raum brachte, in welchem die Pflanze vegetierte. In diesem Falle wurde direkt alle in den Geweben noch enthaltene oder durch innere Spaltungsprozesse kontinuierlich gebildete Kohlensäure nach und nach der Pflanze entzogen und auf diese Weise die Produktionsthätigkeit und damit die Sauerstoffproduktion durch die chlorophyllhaltige Zelle unmöglich gemacht. Es trat nach kurzer Zeit der Tod der Pflanze ein, und derselbe konnte jetzt nur auf die unausgesetzte Unentbehrlichkeit des Atmungsprozesses auch der chlorophyllhaltigen Organe gedeutet werden.

Die allgemeine Notwendigkeit der Erhaltung eines Oxydationsprozesses für ein jedes in vegetativer Thätigkeit befindliche Pflanzenorgan wird durch die beschriebenen Versuche in unzweideutiger Weise bestätigt, und wir müssen diesen das Zugeständnis machen, dass sie nicht anschaulicher und unmittelbarer beweisend hätten ausgeführt werden können, und wir dürfen de Saussure, der schon in früher Zeit diese Experimente anstellte, unsere Bewunderung nicht versagen**).

Eine Ausnahme, wenn auch in einem gewissen Sinne nur eine scheinbare, von dieser allgemeinen Regel machen jedoch manche *Gärungspilze*, z. B. die gewöhnlichen *Hefepilze* und ähnliche niedrigen Organismen, namentlich viele Bakterien. Dieselben sind, obgleich gelegentlich mit einer erheblichen Anziehungskraft für Sauerstoff begabt, doch auch fähig, in einer Zuckerlösung zu wachsen, die vom ungebundenen Sauerstoff völlig frei ist. Diese Ausnahme ist jedoch deshalb in einem

*) Vergl. Recherches sur la végétation, p. 204.

**) Noch anschaulichere und namentlich experimentell vollkommenere Versuche in derselben Richtung hat später Garreau (Annal. d. sciences natur. 1851, Botan. p. 271) angestellt.

gewissen Sinne nur für eine scheinbare anzusehen, weil auch diese Hefepilze unter solchen Umständen einen Prozess unterhalten, bei dem gerade wie bei einer wahren Oxydation *chemische Spannkräfte verloren gehen und Wärme frei wird.* Die durch die alkoholische Gärung gebildeten organischen Substanzen haben in ihrer Gesamtheit eine geringere Verbrennungswärme als der Zucker*), aus dem sie entstanden sind, und dasselbe gilt für die anärobiotischen Bakteriengärungen. Man kann also mit Berücksichtigung dahin gehöriger Fälle nicht bloss das ganz allgemein gültige Gesetz aussprechen, *dass allen lebenden und vegetierenden Pflanzenzellen die Unterhaltung eines Prozesses, bei dem chemische Spannkräfte verloren gehen,* eigentümlich ist**), oder noch besser das Atmungsgesetz so formulieren, dass man sagt: *Atmung bestehe in Sauerstoffaufnahme oder Kohlensäureabscheidung*, dass aber in den höheren Pflanzen das eine mit dem andern zusammengehe.

Wirklich aller Atmung entbehren können von lebenden Pflanzenteilen nur manche trockene Samen, von denen gezeigt ist, dass sie bei völligem Lichtabschluss viele Jahre bestehen können***), ohne notwendig ihre Keimfähigkeit einzubüssen. Aber auch diese Thatsache macht keine Ausnahme von dem allgemeinen Atmungsgesetz, wenn wir nur wie billig uns entschliessen, das Leben zu fassen als aktives, nicht als bloss mögliches Leben und uns erinnern, dass die betreffenden Samen nur ein solches letztere besitzen.

Was den Einfluss der in einer Atmosphäre, welche einen athmenden Pflanzenteil umgiebt, vorhandenen Sauerstoff*menge* auf den Atmungsprozess betrifft, so haben sich durch experimentelle Untersuchungen folgende Gesetzmässigkeiten ergeben. Etwas mehr Sauerstoff, als in der natürlichen Atmosphäre enthalten ist, scheint die meisten Atmungsprozesse samt den dazu gehörigen Wachstums- und anderen Erscheinungen eher zu beschleunigen. Eine stärkere Vermehrung aber, weniger eine weitgehende Verminderung an jenem Elemente, beeinträchtigt den Atmungsprozess, und zwar kommt es hier, wie dies auch in Bezug auf die Kohlensäure für den Assimilationsprozess in den grünen Pflanzenteilen Geltung hatte, nicht auf den Prozentgehalt eines Gasgemischs von beliebigem Drucke, sondern, wie experimentell erwiesen werden konnte, auf den Partialdruck des Sauerstoffs an, so dass gewöhnliche verdünnte und stark gepresste Luft nachteilig wirkt, während verdünnte, aber sauer-

*) Vergl. Fitz: Annal. der Önologie, Bd. II, p. 428.

**) Hierin ist schon angedeutet, was unter dem Namen innerer intramolekularer Atmung neuerdings eine grosse Rolle in der Wissenschaft spielt. Vergl. hierüber J. Wortmann: Über d. Bez. d. intramolek. zur norm. Atm. der Pflanzen, Würzburg 1879; J. Eriksson: Über d. Wärmebildung durch intramolek. Atm., Leipzig 1881, und Moeller: Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., 1884, p. 306.

***) Der Verfasser hat in nicht veröffentlichten Versuchen u. a. Luzernesamen unter Kautelen, die allen Gaswechsel ausschliessen, 11 Jahre lang bewahrt, ohne merkliche Einbusse des Keimvermögens, und die namentlich von Nobbe angestellten Untersuchungen über das plötzliche Erwachen mancher Leguminosensamen aus dem hartschaligen Zustande lehren im Grunde dasselbe. Notwendig ist nur, dass der Same gut trocken bleibt, wozu die Hartschaligkeit ein vorzügliches Hilfsmittel ist, und Samen, welche ein scharfes Trocknen nicht vertragen, ja vielleicht mit physiologischen Prozessen, wie die des Nachreifens, beschäftigt sind, sind zu derartigen Versuchen nicht geeignet.

stoffreichere, stark komprimierte, aber relativ sauerstoffarme Luft die normale Wirkung vollziehen kann*).

Es braucht nun dem über Pflanzenatmung Gesagten kaum hinzugefügt zu werden, dass zu diesem Vorgange noch eine Reihe von anderen Bedingungen erforderlich sind als die Anwesenheit von Sauerstoff. *Eine gewisse Temperatur* ist in engeren oder weiteren Grenzen zu einer jeden physiologischen Funktion erforderlich, und so ist auch die Protoplasmabewegung und mit ihr natürlich der sie begleitende Oxydationsprozess von Temperaturverhältnissen abhängig. Ein Pflanzenteil, der im Innern seiner Zellen Protoplasmaströmungen zeigen soll, muss sich notwendig innerhalb zweier Temperaturgrenzen befinden, und innerhalb dieser Temperaturgrenzen (welche übrigens für verschiedenartige Pflanzen verschieden sind) ist die Intensität der Strömung von der Höhe der Temperatur bedingt**).

Sodann ist es nur nötig, näher einzugehen auf den Chemismus der in Rede stehenden Erscheinung. Wir haben uns in den bisherigen Ausführungen damit begnügt, Atmung als eine Oxydationserscheinung, welche Kohlensäureaustritt zur Folge hat, zu bezeichnen. Damit ist indessen die Atmung durchaus nicht hinreichend charakterisiert. Um sie kennen zu lernen, ist es absolut unerlässlich, den Gasaustausch zwischen Sauerstoff und Kohlensäure näher ins Auge zu fassen, *die relativen Mengen* des aufgenommenen *Sauerstoffs* und der ausgegebenen *Kohlensäure* zu bestimmen und *gleichzeitig die chemischen Veränderungen* des die Atmung unterhaltenden *Organs* zu beobachten. Man darf sich nämlich nicht einfach denken, dass für je ein Volumen Sauerstoff bei jedem Atmungsvorgang je ein Volumen Kohlensäure ausgegeben werde. Dies ist bekanntlich auch bei der tierischen Atmung nicht der Fall, und aus gewissen Andeutungen der letzten Vorlesung konnte entnommen werden, dass dies auch bei der pflanzlichen Athmung nicht allgemein zutreffen kann.

In der That entspricht bei den Pflanzen das ausgegebene Kohlensäurevolumen häufig nicht genau dem aufgenommenen Sauerstoffvolumen. Manchmal werden verhältnismässig sehr grosse Mengen von Sauerstoff aufgenommen, sehr kleine Mengen

*) Vergl. P. Bert: Compt. rend. 1873, 16 juin und besonders 25 août; J. Böhm: K. Akad. d. Wissensch. zu Wien, 1873, 10. Juli. Bert hat auch ähnliche Erfahrungen über die Schädlichkeit von viel Sauerstoff für die Atmung der Tiere gemacht. Kohlensäure, in grösseren Mengen der umgebenden Luft beigemengt, bringt noch bedeutendere Störungen in der Keimung, im Wachstum und überhaupt den wichtigsten Lebensprozessen hervor.

**) Das Überschreiten jener Temperaturgrenzen bringt zunächst nur eine Unbeweglichkeit oder Starre (Kälte- oder Wärmestarre) des Protoplasmas hervor, und die Strömung kann, wird der Pflanzenteil noch zur rechten Zeit auf die günstigere Temperatur zurückgeführt, nach einiger Zeit von neuem beginnen. Erst ein weiteres Überschreiten jener Temperaturgrenzen oder ein längeres Verweilen jenseits derselben hat die vollständige Desorganisation des Protoplasmas, den Tod des betreffenden Pflanzenteils zur Folge; die Strömung ist alsdann auch bei Zurückführung auf die alten Temperaturverhältnisse für alle Zeit erloschen. — Die Schnelligkeit der Protoplasmaströmung steigt innerhalb der Grenztemperaturen mit der Höhe der Temperatur; doch scheinen für höhere Temperaturzuwächse kleinere Beschleunigungen der Strömungsintensitäten zu erfolgen. Über die Abhängigkeit dieser und anderer Vegetationsvorgänge von Wärmeverhältnissen vergl. Vorlesung XXIV.

von Kohlensäure ausgegeben; in manchen Fällen auch umgekehrt. So wird die Sauerstoffaufnahme durch höhere Temperaturen lange nicht in dem Maasse begünstigt als die Kohlensäureausgabe*).

Es handelt sich darum, den *Sinn* des in jedem einzelnen Fall über den andern hervorragenden Prozesses zu verstehen und damit dem Chemismus der betreffenden Atmungserscheinungen näher zu treten. — In einzelnen Fällen gelingt dies auch unmittelbar.

Die Erfahrung lehrt, dass manche (nicht alle)**) fettreichen Samen bei der Keimung im Verhältnis zur auftretenden Kohlensäure viel Sauerstoff brauchen, während stärkemehlreiche im Durchschnitt dem Volum***) nach ungefähr ebensoviel Kohlensäure abgeben als Sauerstoff aufnehmen. — Man kann dies leicht anschaulich machen, wenn man Samen in Wasser und mit einem gewissen Volumen Luft über Quecksilber keimen lässt. Die Volumverminderung der abgesperrten Luft ist bei solchen Versuchen, wenn fettreiche Samen genommen werden, sehr beträchtlich, wenn fettarme dazu dienen, unbedeutend.

Wir brauchen nur zu überlegen, was bei der Keimung solcher Samen vor sich geht, um zu verstehen, warum dies nicht anders sein kann. — Bei der Keimung fetthaltiger Samen wird das Fett in Kohlenhydrate übergeführt, z. T. auch völlig verbrannt; in beiden Fällen wird eine beträchtliche Menge Sauerstoff verbraucht, ohne dass ein entsprechendes Quantum Kohlensäure für denselben auftreten kann, da wir uns einen Teil desselben als zur Oxydation des Wasserstoffs verbraucht denken müssen.

Wenn dagegen bei einem Keimungsprozesse wesentlich nur Kohlenhydrate verbrennen, so wird kein Sauerstoff zur Oxydation des Wasserstoffs in Anspruch genommen zu werden brauchen, er wird — wenn wir von der Bildung untergeordneter Mengen von Pflanzensäuren absehen — nur zur Bildung von Kohlensäure verwandt; und die Folge davon ist, dass ein gleiches Volum Kohlensäure austreten muss†).

Die blosse Vergleichung des aufgenommenen und ausgegebenen Gasvolumens gewährt freilich nur einen sehr unvollkommenen Einblick in die chemischen Vorgänge der Keimungs- und überhaupt der Atmungserscheinungen, sie giebt uns nur

*) Vergl. auch Kreusler: Landw. Jahrb., 1887, p. 711.

**) Natürlich nicht diejenigen, welche wie der Raps und der Mohn das Fett ihres Samens nicht als Reservestoff benutzen. Vergl. p. 90 Anm. 3 dieser Vorlesungen.

***) Die Rechnung mit Volumina bietet beim Vergleich von Sauerstoff und Kohlensäure den erheblichen Vorteil dar, dass in einem Volum Kohlensäure genau dieselbe Gewichtsmenge Sauerstoff vorhanden ist wie in einem Volum Sauerstoff. — Schon Scheele hat sich mit dem Gasaustausch bei der Keimung und auch mit der Volumänderung in der umgebenden Atmosphäre beschäftigt (Traité chim. de l'air et du feu, p. 209).

†) Aus demselben Gesichtspunkte erklärt sich auch, dass im Anfang der Keimung fetthaltiger Samen sich verhältnismässig geringe Mengen von Kohlensäure für den aufgenommenen Sauerstoff bilden, weil eben im Anfange die reduzierten organischen Stoffe, die Fette, in Angriff genommen werden und erst nach deren Überführung in Kohlenhydrate — ich erinnere an die Resultate der in der letzten Vorlesung angeführten Versuche von Peters über die Keimung von Kürbissamen — eine Verbrennung dieser in grossem Maassstabe beginnt.

Anhaltspunkte dafür, in welcher Richtung diese Veränderungen gehen. Wenn wir wirklich die Gesamtänderung im Bestand an den Elementen der organischen Substanz, an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff kennen lernen wollen, so müssen natürlich im allgemeinen für die drei Unbekannten auch drei Gleichungen zu Gebote stehen. Hieraus erhellt zugleich die Bedeutung der einzelnen analytischen Methoden in Bezug auf die Einsicht, die sie verbreiten in den Chemismus des untersuchten physiologischen Vorgangs. Blosse Kohlensäurebestimmungen während der Atmung lehren natürlich hierüber gar nichts, sondern höchstens etwas über die Intensität des Prozesses. Untersucht man in abgeschlossenen Räumen die Abänderung der Atmosphäre, so stehen nur zwei Gleichungen zur Verfügung, und Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnis, wie sie Wasser bilden, können noch in verschiedenem Maasse in die Zusammensetzung der organischen Trockensubstanz eingegangen sein.

Dem aufgestellten Postulate wird dagegen Genüge geleistet*), wenn neben auf-

*) Es ist, um einen etwas tiefern Einblick in alle die bei der Atmung möglichen chemischen Prozesse zu gewinnen, nützlich, sich nach dem Vorbild einer mathematischen Variation alle Einzelfälle zu konstruieren.

1. Wird ein *Kohlenhydrat vollständig* bei einem derartigen Prozesse verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *gleich* der in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltenen. — Der Oxydationsprozess findet *ohne Volumveränderung* der umgebenden Atmosphäre statt. — Der Gewichtsverlust des Organs an Trockensubstanz ist grösser als das Gewicht des in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs und zwar um eine der Zusammensetzung des verbrannten Kohlenhydrats entsprechende Menge Wassers.

2. Wird ein *höher oxydierter Körper* (von der Zusammensetzung der Wein- oder Äpfelsäure) *vollständig* verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *kleiner* als die in der angegebenen Kohlensäure enthaltene. — Der Oxydationsprozess findet unter *Volumvermehrung* der umgebenden Atmosphäre statt. — Der Gewichtsverlust des Organs kann nicht durch Kohlenstoff- und Wasserabgabe völlig erklärt werden. — Dieser Fall ist nachträglich experimentell aufgefunden durch Mangin (Compt. rend. 109, p. 716).

3. Wird ein *Fett-* oder *Proteïnkörper vollständig* verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *grösser* als die in der ausgegebenen Kohlensäure enthaltene. — Der Oxydationsprozess findet unter *Volumverminderung* der umgebenden Atmosphäre statt. — Der Gewichtsverlust des Organs ist grösser als das Gewicht des in der abgegebenen Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs. Der Rest ist vorwiegend Wasserstoff und verhältnismässig sehr gering.

4. Wird ein *Kohlenhydrat unvollständig* verbrannt, d. h. zu einer dem Organe verbleibenden organischen Verbindung oxydiert, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs von einer gewissen Grösse — die der ausgegebenen Kohlensäure *gleich Null.* — Der Oxydationsprozess findet unter *Volumverminderung* der umgebenden Atmosphäre statt; derselbe besteht in einer reinen Absorption von Sauerstoff. — Es tritt Gewichtsvermehrung des Organs ein, die genau der Menge des aufgenommenen Sauerstoffs entspricht.

5. Wird endlich ein *Fett unvollständig* verbrannt, zu einem Kohlenhydrat oder zu einer Pflanzensäure oxydiert, so findet dasselbe, nur in verstärktem Maassstabe, statt. —

Durch Kombination dieser fünf möglichen Fälle entstehen nun die verschiedenen sehr komplizierten Vorgänge, auf die sich unsere Beobachtungen über Oxydationserscheinungen ausdehnen. — Weiter sind aber noch die Spaltungsvorgänge irgend eines organischen Körpers in einen von geringerem Sauerstoffgehalt und in Kohlensäure zu berücksichtigen, die, wie aus der vorigen Vorlesung hervorgeht, auch in der höheren Pflanze mit Wahrscheinlichkeit eine Rolle spielen werden. Dieser Fall wird, wie schon bemerkt, auch als intramolekulare Atmung bezeichnet.

genommenem Sauerstoff und ausgegebener Kohlensäure die Differenz der Trockensubstanzen festgestellt wird, oder wenn neben der letzteren zwei vergleichende Elementaranalysen ausgeführt werden.

Anders, als dies eben geschehen, sind die Methoden über Pflanzenatmung zu beurteilen, und relativ einfache Versuchsanstellungen können genügen, wenn man von deren Chemismus absieht und nur die Atmungsintensität in verschiedenen Wachstumsperioden oder unter verschiedenen äusseren Verhältnissen feststellt. Alsdann kann sowohl die Sauerstoffaufnahme wie die Kohlensäureausgabe und selbst die Trockensubtanzabnahme als ein herausgegriffenes Symptom der alleinigen Beobachtung unterliegen. Das erstere Prinzip hat der Verfasser dieser Vorlesungen in einer Arbeit in Gemeinschaft mit v. Wolkoff für sehr rasch aufeinanderfolgende Beobachtungen mit Glück benutzt. Der Apparat für diese Methode ist in Fig. 7 samt den zum Verständnis nötigen Andeutungen wiedergegeben.

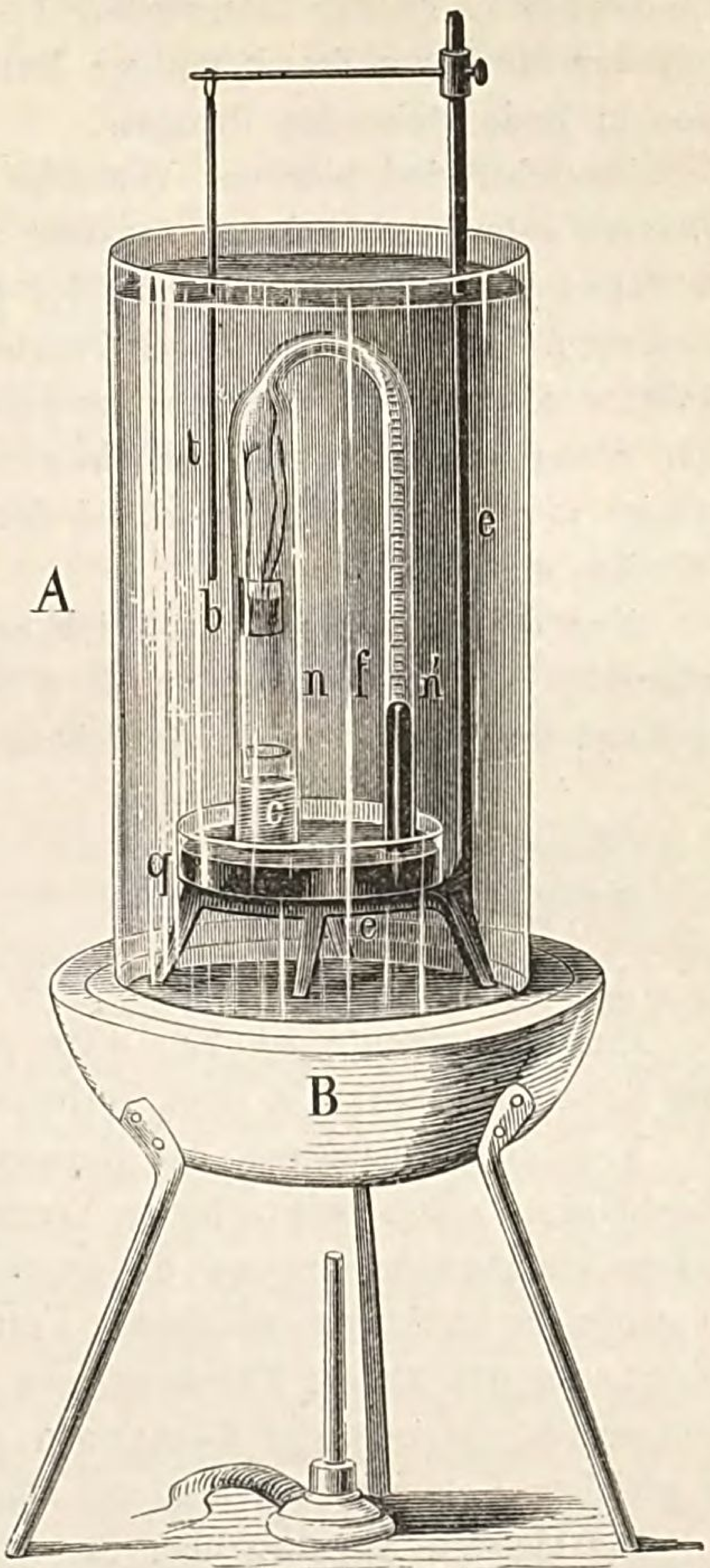


Fig. 7. — In der mit Quecksilber angefüllten Glasschale q ist die n-förmige Atemröhre auf einen angekitteten Kautschukkork bei c dicht aufgesetzt. Der Binnenraum dieser Röhre, in welchen die atmenden Pflanzen b eingeführt sind, ist nach der anderen Seite hin durch Quecksilber abgeschlossen, welches, in der graduierten Röhre n aufsteigend, die Volumveränderungen erkennen lässt. Bei c und f findet sich verdünnte Natronlösung, durch welche die Kohlensäure weggenommen wird. Auf diese Weise bedeuten die beobachteten und nach gasometrischen Methoden berechneten Volumverminderungen direkt Sauerstoffaufnahme. Der Apparat ist in den Glascylinder A, der mit Wasser gefüllt ist, eingesetzt und kann auf dem Wasserbade B erwärmt werden.

So bedeutend unsere Kenntnisse infolge dieser und anderer einfachen Versuchsanstellungen über die Abhängigkeit der Atmung von sehr auseinanderlaufenden äusseren Umständen geworden sind, und wie z. B. auf diese Weise der interessante Satz zu Tage gefördert worden ist, dass die Intensität der Sauerstoffaufnahme keimender Weizenpflanzen von *ihrem* Gefrierpunkte ab, also schon unter dem des Wassers, bis zu ihrem Tötungspunkte durch Hitze ziemlich genau proportional

6. Bei derartigen Spaltungsvorgängen ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs *gleich Null* — die der ausgegebenen Kohlensäure von einer gewissen Grösse. — Der Prozess findet unter *Volumvermehrung* der umgebenden Atmosphäre statt; derselbe besteht einfach in einer reinen Kohlensäureentwickelung. — Es tritt eine Gewichtsverminderung des Organs ein, die genau der ausgegebenen Kohlensäure entspricht. — Aus diesen möglichen Variationen kann zugleich mit grosser Deutlichkeit ersehen werden, dass Gewichtszunahme an Trockensubstanz der Theorie noch nicht streng mit dem Reduktionsprozess Hand in Hand zu gehen braucht, ebensowenig wie Oxydation und Gewichtsabnahme. —

den Graden des Thermometers erfolgt*), so wenig wissen wir natürlich bei der Schwierigkeit der für diesen Zweck nötigen Methoden von den chemischen Detailvorgängen bei dem in Rede stehenden Prozesse.

Zunächst sind hier nur Versuche von Boussingault**) zu erwähnen, welcher Pflanzen sehr verschiedener Art weit über das Keimungsstadium hinaus im Dunkeln verweilen liess, also die Atmung der ganzen etiolierten Pflanze einer Untersuchung unterwarf. Als Resultat dieser Versuche mit Erbsen, Weizen und Bohnen kann angesehen werden, dass der Substanzverlust bei dieser länger dauernden Periode ziemlich genau auf das Stattfinden einer vollständigen Verbrennung eines Kohlenhydrats gesetzt werden kann, während bei dem ersten Keimungsstadium kompliziertere Verhältnisse obwalten.

Von diesen Versuchen will ich nur den einen an einer Bohne angestellten hier anführen, die, im Dunkeln nach 4 Wochen zu einer bleichsüchtigen Pflanze erwachsen, ungefähr folgende Gewichtsverluste zeigte:

	Trockengewicht.	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.
Same	0,926 Gr.	0,407 Gr.	0,056 Gr.	0,376 Gr.
Pflanze	0,566 „	0,248 „	0,033 „	0,198 „
Differenz	— 0,360 Gr.	— 0,159 Gr.	— 0,023 Gr.	— 0,178 Gr.

Das Ebengesagte ist hier klar ersichtlich, indem der Verlust an Wasserstoff und Sauerstoff nahezu in dem Verhältnis steht, in dem sie Wasser bilden.

Von dem Chemismus der Keimung bleibt auch an dieser Stelle als Resultat einschlägiger schon besprochener Versuche zu bemerken, dass dabei im Vergleich zu andern Atmungserscheinungen die *Stoffumwandlung* eine besonders grosse Rolle spielt. Es gehen die im Samen enthaltenen Fette grossenteils in Kohlenhydrate über, es treten Gerbsäuren und andere Pflanzensäuren auf, und es finden noch ausserdem eine Reihe weniger tief eingreifender Reaktionen statt, welche Vorgänge alle den Gasaustausch zu gleichen Volumina etwas stören müssen.

Die meisten Angaben über die Atmung verschiedener Pflanzen und Pflanzenteile beziehen sich lediglich auf den Gasaustausch.

Von besonders interessanten Ergebnissen solcher Versuche ist hier zu erwähnen, dass gerade bei Wurzeln von Landpflanzen erhebliche, die der oberirdischen Pflanzenteile vielleicht selbst übersteigende, Atmung nachgewiesen werden konnte. Dies hat eine grosse praktische landwirtschaftlirhe Bedeutung, indem auf diese Weise die Notwendigkeit einer Durchlüftung der Ackererde erhellt***).

*) Vergl. Landw. Versuchsstat. B. 19, p. 340. Dass die Atmung schon etwas unter Null statthat, wurde später bestätigt durch die Untersuchungen von Kreusler (Landw. Jahrb., 1888, p. 161) und Clausen (ebenda 19, p. 893). Auch scheint nach neueren Untersuchungen Optimum und Maximum nicht ganz dicht bei einander zu liegen, namentlich nicht, wenn man CO_2 als Maassstab der Atmungsintensität annimmt. Vergl. auch Heinrich: Grundlagen etc. 1882, p. 153.

**) Journal f. pr. Ch. B. 93, p. 1: Compt. rend. B. 58, p. 883 etc., und Agronomie etc. IV, 1868, p. 253.

***) Details über diesen Gegenstand, namentlich auch über die Atmung der Wurzeln von Sumpfpflanzen finden sich bei E. Freiberg: Landw. Vers. 23, p. 463, Versuche, die übrigens

Sehr energische Atmungserscheinungen zeigen die Blüten und besonders die eigentlichen Geschlechtsorgane, die als der Sitz der energischsten Lebenserscheinungen in der Pflanze zu betrachten sind.

In anderer Richtung merkwürdige Beobachtungen*) wurden auch für reifende Früchte (Äpfel, Orangen etc.) gemacht. Wenn nämlich der Sauerstoff künstlich abgeschlossen wird, geben die Früchte durch einen gärungsartigen Spaltungsprozess dennoch Kohlensäure nach aussen ab**), wie solche Beobachtungen auch für chlorophylllose Schmarotzer und andere Pflanzen und Pflanzenteile vorliegen. Dieser Vorgang, der, wie gesagt, auch als intramolekulare Atmung bezeichnet wird und eine Zeit lang an die Stelle der gewöhnlichen treten kann, ist, wie wir schon gesehen haben, ein normaler Prozess bei manchen niederen Organismen, die sich an die anärobiotische Lebensweise gewöhnt haben. Bei Agave und einigen anderen dickblättrigen Pflanzen hat man dagegen zuweilen Sauerstoffaufnahme ohne entsprechende Kohlensäureabgabe wahrgenommen, eine Erscheinung, welche sich durch Erzeugung von viel Oxalsäure erklärt***).

Man kann in dieser Richtung auf Grund der vielen Untersuchungen über die Atmung der verschiedensten Pflanzenteile aussprechen, dass mit Ausnahme des eben erwähnten Falls und des Keimlings, der sich abweichend verhält, namentlich wenn er auf Kosten eines mit Fetten gefüllten Reservestoffbehälters zehrt, alle diese verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteile unter normalen Lebensverhältnissen annähernd die gleiche Menge Sauerstoff in der Kohlensäure ausgeben, als sie in freiem Zustand aufgenommen haben. Aus dieser Thatsache lässt sich nun auch ohne Ermittelung der Trockensubstanz mit grosser Sicherheit schliessen, dass im grossen und ganzen in diesen untersuchten Pflanzenteilen die Verbrennung auf Kosten von Kohlenhydraten (ohne indessen etwas über die Zwischenzustände angeben zu können) stattfindet, und dass diese dabei eine vollständige Oxydation bis zur Kohlensäure erleiden, da jede andere Annahme zu unkontinuierlichen Prozessen oder andern unzulässigen Folgerungen führt.

Dennoch muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass es noch bisher unbesprochene Prozesse in einzelnen Pflanzenteilen geben muss, die einen anderen Gasaustausch als den zu gleichen Voluminibus voraussetzen. Ich denke hier namentlich an den Vorgang der Füllung der fetthaltigen Reservestoffbehälter, ganz ab-

der Wiederholung bedürftig sind. Auch steht mit diesem Gegenstande in Zusammenhang die Beobachtung von H. Müller (Landw. Jahrb., 1875, p. 999 u. 1016), wonach Pflanzen, die nassen Boden lieben, eine geringe Bewurzelung besitzen.

*) Cahours: Compt. rend., T. 58, p. 495 und 653.

**) Ähnliches soll auch eventuell für grüne Pflanzenorgane stattfinden (Böhm: Sitzungsb. d. Wien. Akad. 1873, März) und nach Pasteur dabei auch Alkohol geliefert werden (Compt. rend., 1872, 7. Okt.), ebenso auch nach Lechartier und Bellamy (Fühling: Neue landw. Zeit., 1873, p. 286); Dehérain und Moissau: Compt. rend., T. 78, p. 1112. Dabei konnte die noch vorhandene Lebensfähigkeit solcher Kohlensäure abspaltenden Pflanzenteile konstatiert werden (Böhm), indem z. B. grüne Blätter, alsdann dem Lichte ausgesetzt, die ausgegebene Kohlensäure unter Sauerstoffabspaltung zerlegen. Zufällige, aber recht deutliche Beobachtungen in dieser Richtung sind auch von Pfeffer gemacht worden (Arb. d. bot. Inst. Würzburg, B. I, p. 34 Anm.).

***) Dehérain und Moissau: A. a. O.

gesehen von der in weniger bedeutendem Maassstabe stattfindenden Produktion anderer sehr sauerstoffarmer organischer Stoffe, die regelmässig in der Pflanze auftreten. Bei diesem Vorgang, also z. B. während des Reifens eines ölhaltigen Samens, muss in grossem Maassstabe Fett aus Kohlenhydraten gebildet werden, und dies kann nur unter Abspaltung von Kohlensäure (gleichviel ob direkt, ob indirekt) geschehen, da wir in solchen Fällen nicht etwa entsprechende Mengen hochoxydierter organischer Stoffe auftreten sehen. Wir werden also mit Sicherheit für diesen und jenen analogen Fall bei der Untersuchung des Gasaustauschs solcher Organe eine verhältnismässig kleine Sauerstoffaufnahme und verhältnismässig grosse Kohlensäureausgabe, m. a. W. gerade das Umgekehrte erwarten dürfen (und auch experimentelle Belege hierfür fangen an sich einzustellen), was wir bei der Auskeimung eines solchen fetthaltigen Reservestoffbehälters stattfinden sehen, wo unter grossem Sauerstoffkonsum das Fett wieder in das in den vegetierenden Organen funktionierende Kohlenhydrat übergeht.

Im allgemeinen findet also die Atmung bei den lebenden Pflanzen in der Weise statt, dass irgend ein Kohlenhydrat des Protoplasmas vollständig verbrennt. Der in das lebende Gewebe eintretende Sauerstoff tritt nur beladen mit Kohlenstoff, den er ohne Volumänderung in seine Moleküle aufnimmt, als Kohlensäure wieder aus. Findet aber neben dem Vorgang Neubildung organischer Substanzen von anderer Oxydationsstufe als die Kohlenhydrate auf Kosten von diesen, oder die Rückverwandlung jener Substanzen in diese statt, so hört eine solche regelmässige Beziehung zwischen den ein- und ausgeatmeten Gasen auf, und die Beziehung wird um so unregelmässiger, je verwickelter jene Umwandlungsvorgänge sind.

In allen Fällen bedingt aber die dauernde Atmung eine Stoffverminderung, geradeso wie der ihr entgegengesetzte Prozess der Produktion von organischer Substanz eine Stoffvermehrung bewirkt. Dieser letztere Prozess findet aber mit viel grösserer Intensität statt, sonst würde es ja eine Pflanze, die unausgesetzt atmet, nur beim hellen Tageslicht aber Stoff produziert, zu keiner Vermehrung ihrer Substanz bringen können*). Die Produktion findet sogar mit solcher Intensität statt, dass bei vielen Pflanzen täglich 6 Stunden eines mässigen Lichts genügen, um der 24stündigen Atmung wirksam entgegenzutreten**). Eigentliche Schattenpflanzen***) haben nachgewiesenermaassen (im Zusammenhang mit einem weniger intensiven Leben) eine besonders schwache Atmung, wodurch sie auch noch ungünstigeren Beleuchtungs-

*) Auch dies Verhältnis wurde schon von dem seiner Zeit so weit vorausgeeilten Ingen-Housz aufs deutlichste festgestellt, vergl. a. a. O. p. 61.

**) So erzeugt nach Boussingault (Agronomie etc. IV, 1868, p. 328) ein qcm-Blatt (Lorbeer) stündlich im Dunkeln 0,002 ccm Kohlensäure, während die Verarbeitung desselben im Lichte ungefähr mit der 30fachen Intensität durchschnittlich von statten ging. Nach Heinrich und Ernst (Grundlagen 1881, p. 19) veratmete Hafer während seiner ganzen Vegetation sogar zwischen 30 und 40% der während derselben Zeit erzeugten Trockensubstanz, wobei allerdings mit in Rechnung zu ziehen ist, dass des Nachts die Produktion stille steht und nicht bei allen Organen der zu Felde stehenden und einander beschattenden Pflanzen möglich ist, während gerade die Atmung bei den Kulturgewächsen besonders gross ist. Vergl. Heinrich: 2. Bericht der Versuchsst. Rostock, p. 165, wonach besonders bei Spörgel und Hafer grosse Atmungsintensitäten beobachtet sind.

***) Vergl. die Studie des Verfassers in landw. Versuchsst. 1891, p. 203.

verhältnissen standzuhalten geeignet sind. So wird uns dann die sehr ansehnliche Produktion frischer grüner Pflanzen in den langen hellen Tagen des Sommers begreiflich, trotz dem unausgesetzten Angriff des Verbrennungsprozesses, der die eben produzierte Substanz wieder zu vernichten strebt.

Zum Schluss dieser Vorlesung möchte ich noch von der Wärmeentwickelung infolge der pflanzlichen Atmung reden. Dass bei einer jeden Atmungserscheinung als bei einer Verbrennung chemische Spannkräfte in Freiheit gesetzt werden und dass diese freiwerdenden Spannkräfte in Form der lebendigen Kraft der Wärme alsdann aufzutreten pflegen, haben wir bereits weiter oben hervorgehoben. Hier handelt es sich darum, ob diese Wärme nachzuweisen ist und welche Rolle sie im Pflanzenleben spielt.

Zunächst muss ich bemerken, dass alles, was während der Atmungserscheinung an inneren chemischen Kräften verloren geht, *endgültig* in Form von Wärme auftreten muss. Die Bewegungserscheinungen des Protoplasmas und die anderen von uns unbeachtet gelassenen pflanzlichen Bewegungserscheinungen sind nicht im stande, äussere mechanische Arbeit, wie dies bei der tierischen Bewegung der Fall ist, zu erzeugen — von kleinen Luftbewegungen, die durch das Zusammenfalten reizbarer Organe veranlasst werden können, etc. abgesehen. Sie verschwinden mithin, ohne sich auf die Aussenwelt zu übertragen, durch Reibung im eigenen Organismus oder dieses Organismus an der unmittelbaren Umgebung und werden somit in Wärme verwandelt. Sämtliche durch den Chemismus der Atmung freiwerdenden Kräfte müssen also im oder am Pflanzenleibe als Wärme auftreten.

Wir hatten schon hervorzuheben, dass die pflanzliche Atmung mit sehr viel geringerer Energie erfolgt als die Atmung der höheren Tiere, und daraus folgt, dass auch die Wärmemengen, die wir infolge der Atmung erwarten dürfen, bei den Pflanzen sehr viel geringer sein werden als beim Tiere. Dazu kommt zweierlei, das diese Wärme bei der Pflanze zu verdecken strebt — einmal die sehr starke Verdunstung, die allen stark vegetierenden Trieben eigentümlich ist, und die wegen der bedeutenden latenten Dampfwärme des Wassers eine grosse Menge Wärme in Anspruch nimmt — und dann die verhältnismässig grosse Oberfläche aller starkatmenden Organe, wodurch die rasche Ausstrahlung der etwa noch überschüssigen Wärme begünstigt wird.

Am meisten Aussicht werden wir haben, die Eigenwärme an Pflanzenteilen nachzuweisen, die ungewöhnlich energische Atmungsprozesse in sich vollziehen. Als solche kennen wir die keimenden Samen und namentlich die Geschlechtsorgane der Pflanzen, vor allem die männlichen. — Es gelingt in der That, so wenig wir im gewöhnlichen Leben mit dem Gedanken vertraut sind, die Pflanzen als Wärmeerreger anzusehen, sogar mit dem gewöhnlichen Thermometer die Selbsterwärmung der Geschlechtsorgane mancher Pflanzen in der Periode der Geschlechtsreife nachzuweisen. Am Blumenkolben der Aroideen, der Zierpflanze Calla z. B., der insofern ein günstiges Objekt abgeben muss, als er bei kompakter Masse eine verhältnismässig kleine Oberfläche hat, gelang es schon vor 100 Jahren, Wärmeentwickelung wahrzunehmen. Genaue Versuche, die in neuerer Zeit ausgeführt worden sind, zeigten, dass diese Selbsterwärmung bis zu 9 °C. über die umgebende Temperatur und noch

höher steigen kann, und dass der Sauerstoffkonsum des Kolbens proportional mit diesem Wärmeüberschuss zu- oder abnimmt*).

Ziemlich allgemein bekannt ist die Selbsterwärmung von keimendem Samen, die namentlich bemerkbar wird, wenn man ihn nur in genügend dicken Schichten aufeinanderhäuft, z. B. bei der Malzbereitung**). Doch ist die anfängliche Wärmeentwickelung***) in diesem Falle noch nicht von wirklichen Oxydationsvorgängen, sondern von der Wasseraufnahme in die quellbare Samensubstanz herzuleiten.

Aber selbst bei grünen Organen, die nur eine unbedeutende Atmung unterhalten, gelingt es durch eine sinnreiche Methode, die Wärmeerzeugung anschaulich zu machen. Wenn man nämlich einen jungen grünen Spross durch Bedecken mit einer Glocke vor der Verdunstung und dem mit dieser verbundenen Wärmeverlust schützt, so gelingt es, nicht mit einem Thermometer, wohl aber mit einer thermoelektrischen Nadel†), deren eine Lötstelle in den zu untersuchenden Spross, deren andere (ungleichnamige) Lötstelle in einen gleichen, ebenfalls vor Verdunstung geschützten, jedoch *getöteten* Spross eingestochen wird, und die mit einem starken Multiplikator in Verbindung gesetzt wird, die allerdings sehr geringe Eigenwärme durch Ablenkung der Nadel nachzuweisen. Ob der Eigenwärme der Pflanze für ihren Haushalt eine Bedeutung zukommt, davon wird in einer späteren Vorlesung (24) die Rede sein††).

Achte Vorlesung.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanzen. — Kohlenhydrate.

In unsern bisherigen Betrachtungen haben wir die Entstehung der organischen Substanz, die Wanderung und mannigfache Umformung derselben und schliesslich deren Zerstörung im Leibe der grünen Pflanze als Gegenstand der Darstellung ge-

*) Sachs: a. a. O. p. 292—300; Berzelius: Lehrb. d. Chemie, 1828, B. III, 1, p. 221 und namentlich Garreau: Annal. d. sciences natur. 1851, p. 250.

**) Über die ersten Beobachtungen in dieser Richtung vergl. Tietschert: Keimungsversuche etc., Halle, 1872.

***) Auch bei Hutpilzen ist eine solche von über einem Grade über die umgebende Atmosphäre nachgewiesen worden. Mac Nab (Gardener Chronicle, 1871, Nr. 39).

†) Dutrochet: Annal. d. sc. nat., 1840, T. 13, p. 1.

††) Am Schlusse dieser Vorlesung, in welcher die Atmungserscheinungen der Pflanze im wesentlichen nur mit der Umwandlung stickstofffreier organischer Substanzen in Beziehung gebracht worden sind, ist die Bemerkung wohl am Platze, dass nichts im Wege steht, ähnliche Beziehungen auch zu den später zu behandelnden stickstoffhaltigen Substanzen anzunehmen. Dass hiervon nicht die Rede war, dafür wird der wohlwollende Leser leicht den Grund in der von mir gewählten Stoffeinteilung finden, deren Grundsatz es ist, keine Anschauung unnötig zu komplizieren, die aber selbstredend möglicherweise mit dem weiteren Fortschreiten der Wissenschaft eine unbrauchbare werden kann.

wählt. — Wir sind nunmehr genügend vorbereitet, um uns heute diejenigen organischen Substanzen etwas näher anzusehen, welche *allein diesen* verschiedenen Thätigkeiten ihren Ursprung verdanken, d. h. also die organischen Bestandteile der Pflanzen, an deren Zusammensetzung sich nur die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff beteiligen. Bei diesem Unternehmen werden wir uns nicht darauf zu beschränken brauchen, die einzelnen hierhergehörigen Substanzen nach einer beliebigen Reihenfolge ohne weiteren Zusammenhang abzuhandeln; vielmehr werden wir uns bei einer jeden Stoffgruppe einigermaassen Rechenschaft geben können über die Bedingung der Entstehung und Zerstörung sowohl, als über die physiologische Bedeutung der zu ihr gehörigen Verbindungen. — Ich glaube, dass man sich am ehesten bei dieser Behandlungsweise mit dem an sich etwas trockenen Gegenstande befreunden wird.

Wir beschäftigen uns also hier zunächst mit den aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzten Verbindungen, die in der Pflanze auftreten, den sogenannten stickstofffreien organischen Stoffen des Pflanzenleibes. Knüpfen wir zunächst an die Stoffe an, die wir schon kennen, deren Entstehung und Funktionen in der Pflanze uns wohl bekannt sind, und beginnen wir mit der Gruppe der *Kohlenhydrate,* ohne Zweifel den wichtigsten unter diesen Substanzen. Dieselben können zusammengesetzt gedacht werden, wie ihr Name schon ausdrückt, aus Kohlenstoff und Wasser. Es ist kaum zu erwähnen nötig, dass dieser Name nichts über ihre rationelle Konstitution, d. h. die Lagerung ihrer Atome aussagt; derselbe ist in der Chemie der Strukturverhältnisse ohne alle Bedeutung, sondern soll nur an die *empirische Formel* aller Verbindungen jener Gruppe erinnern.

Die möglichen Kombinationen der durch den Namen ausgedrückten Zusammensetzung $C_x H_{2y} O_y$ sind nun aber in den „Kohlenhydrate“ genannten Körpern weitaus nicht erschöpft, sondern es sind von der Natur nur einige wenige Verhältnisse thatsächlich beobachtet, für die sich allein aussagen lässt, dass $y = x$, oder y ein wenig kleiner ist als x, so dass in den Verbindungen, wo y den kleinsten Wert annimmt, $^6/_5\ y = x$ ist, z. B. dem Stärkemehl selbst, die Formel $C_6H_{10}O_5$ zukommt. Die Kohlenhydrate unterscheiden sich daher in ihrer Zusammensetzung nur durch Mengen von Wasser, die im Maximum $^1/_{10}$ ihres Gesamtgewichts betragen.

Von jeder einzelnen durch eine Formel repräsentierbaren Zusammensetzung giebt es jedoch mehrere isomere Kohlenhydrate, so dass trotz der beinahe identischen Zusammensetzung doch eine grosse Anzahl von Kohlenhydraten existiert.

Die allgemeinen Eigenschaften dieser Stoffe lassen sich mit wenig Worten charakterisieren. — Alle Kohlenhydrate sind ungefärbt, stellen also im ungelösten und feingepulverten Zustande eine weisse Masse dar; sie sind völlig geruchlos und haben alle ziemlich neutrale Eigenschaften, reagieren nicht auf Lakmuspapier und schmecken niemals sauer oder alkalisch und einige von ihnen zeigen höchstens durch ihre Verbindungsfähigkeit mit stärkeren Basen den Charakter einer schwachen Säure, und zugleich, wie das ja bei verwickelt zusammengesetzten Verbindungen nicht selten ist, den von schwach basischen Stoffen. Die Kohlenhydrate sind nicht flüchtig, sondern zersetzen sich beim Erhitzen unter Bräunung, sogenannte Karamelbildung, von der äusserlichen Bräunung des stärkemehlhaltigen Brotes und anderen Gebäcks bekannt

genug. Die noch allgemeineren, fast allen organischen Substanzen zukommenden Eigenschaften, der Schwärzung mit konzentrierter Schwefelsäure, die Fähigkeit mit Flamme zu verbrennen etc., bedürfen hier nicht der besonderen Erwähnung.

Was die Funktionen der Kohlenhydrate in der Pflanze betrifft, so ist das Wesentliche davon schon in der sechsten Vorlesung besprochen worden. Wir haben uns stets Kohlenhydrate, meist in der Form von Trauben- oder Fruchtzucker, in der protoplasmatischen Zellflüssigkeit und in dem von ihr eingeschlossenen Zellsafte gelöst zu denken. Vermittelst dieser wird der Aufbau der Zellhäute in einem neuen Organe besorgt, die im jugendlichen Zustande lediglich aus einem Kohlenhydrat von der Zusammensetzung des Stärkemehls, der Cellulose, bestehen.

In manchen Gewebeteilen werden aber die Kohlenhydrate, welche aus dem Zellsaft sich ablagern und *zur Zeit nicht zum Aufbau neuer Organe* dienen, in den verschiedenen andern, d. h. also wasserärmeren Formen, niedergelegt, wenn sie überhaupt bei diesem Prozess die Zusammensetzung der Kohlenhydrate beibehalten. So finden wir in den Reservestoffbehältern der verschiedenen Pflanzen beinahe die ganze Mannigfaltigkeit der eben aufgezählten Kohlenhydrate, also je nach der Natur der untersuchten Pflanze ausser Stärkemehl und Cellulose den Rohrzucker, das Inulin, das Lichenin etc., während andere wie das Dextrin mehr als Übergangsstufen des niedergelegten Materials in das gelöste Kohlenhydrat des Zellsaftes, das zu Neubildungen dient, zu betrachten sind und wieder andere wie das Arabin unter krankhaften Verhältnissen entstehende Ausscheidungsprodukte zu sein scheinen, unfähig einer Wiederaufnahme durch den Zellsaft und einer neuen Verwendung im Organismus.

Schon aus diesen allgemeinen Mitteilungen ist zu ersehen, dass es sehr viele Kohlenhydrate giebt. Man hat nach und nach wirklich eine so grosse Zahl von zu dieser Abteilung gehörigen Stoffen aus den Pflanzen dargestellt, dass wir für unseren Zweck darauf verzichten müssen, diese alle einzeln zu behandeln oder auch nur vollständig aufzuzählen*). Wir müssen uns damit begnügen, sie in Gruppen zu bringen und für jede Gruppe die wichtigsten und meist charakteristischen als typische Repräsentanten mehrerer ähnlicher Stoffe abzuhandeln. Gerade die grossen Fortschritte in der Einzelkenntnis haben eine solche synoptische und doch fruchtbare Behandlungsweise sehr erleichtert.

Wir gehen dabei am besten von derjenigen Gruppe aus, welche durch ihre verhältnismässig einfache Konstitution und andererseits wegen ihrer synthetischen Beziehungen zu den anderen Gruppen gleichsam der Schlüssel sind für die Chemie aller Kohlenhydrate, von der Gruppe der sogenannten *Glycosen.* Unter dieser Gruppe werden zusammengefasst die Zuckersorten von der Formel $C_6 H_{12} O_6$, und als Hauptrepräsentanten können gelten die *Dextrose* (Traubenzucker) und die *Lävulose* (Fruchtzucker), beide von grosser pflanzenphysiologischer Bedeutung.

Der *Traubenzucker* **) und der *Fruchtzucker* sind physiologisch kaum getrennt zu behandeln, da es in vielen Fällen noch zweifelhaft ist, mit welchem von beiden

*) Es giebt gegenwärtig selbständige Werke, die sich allein diesen Zweck vorgesetzt haben. Siehe Tollens: Handb. der Kohlenhydrate, Breslau 1888.

**) Weitere Synonyme auch wohl Stärkezucker, Krümelzucker.

man es zu thun hat, und ihre weitgehende physiologische Gleichwertigkeit als festgestellt betrachtet werden kann. Der Unterschied in den leicht erkennbaren Eigenschaften beider besteht hauptsächlich darin, dass der Traubenzucker ziemlich leicht mit einem Molekül Wasser zusammen in warzenförmigen Krystallen krystallisiert und die Polarisationsebene (ungefähr $52\,{}^1/_2{}^0$) nach rechts dreht, während der Fruchtzucker äusserst schwer zum Krystallisieren zu bringen ist und weit stärker nach links polarisiert. Beide sind sehr verbreitet im Pflanzenreich und kommen namentlich in den Früchten (in allen unsern Obstsorten) in grosser Menge vor und sind direkt gärungsfähig, was z. B. bei dem Rohrzucker und anderen Saccharosen nicht der Fall ist, denn diese gären nicht mit allen alkoholischen Hefepilzen*).

In Bezug auf die Konstitution beider Stoffe hat die moderne Chemie der Kohlenstoffverbindungen infolge der grossartigen Fortschritte der letzten Decennien willkommene, wenn auch noch nicht eine vollständige erledigende Aufklärung gebracht, da die zweifellose synthetische Darstellung bis jetzt noch nicht geglückt ist. Danach haben wir den Traubenzucker vermutlich zu betrachten als

$$\begin{array}{ll} & \diagup \mathrm{CH_2} \\ & \quad | \\ \mathrm{O} & (\mathrm{CHOH})_4 \\ & \quad | \\ & \diagdown \mathrm{CHOH} \end{array}$$

d. h. also als einen Polyglycol, in welchem fünfmal die alkoholische Gruppe vorkommt**). Trotz der vielen alkoholischen Gruppen kommt den Polyglycolen doch nicht eine entschiedene basische Natur zu, da gerade nach einer bekannten Erfahrung der organischen Chemie der Sauerstoffgehalt der einen Atomgruppe den basischen Charakter einer benachbarten Gruppe zu schwächen pflegt***). Die reduzierende Natur des Traubenzuckers, vor allem das Verhalten desselben gegen Kupferoxyd in alkalischer Lösung, die bekannte Reaktion, welche auf die Abscheidung von rotgelbem Kupferoxydul einerseits, auf die Oxydation des Traubenzuckers zu mehreren erst teilweise bekannten Säuren und anderen Stoffen andererseits, hinausläuft, ist zu erklären aus der Anwesenheit des doppelt gebundenen Sauerstoffs, der erfahrungsgemäss leicht zur Entstehung von Karboxylgruppen Veranlassung giebt.

Eine ganz ähnliche Konstitution kommt vermutlich dem Fruchtzucker zu, nur dass bei ihm der doppelt gebundene Sauerstoff vermutlich an doppelt gebundenen (sog. sekundären) Kohlenstoffatomen sitzt.

Bei fast allen anderen zu den Kohlenhydraten gehörigen Stoffen werden wir davon zu berichten haben, dass sie durch Kochen mit verdünnter Säure in eine der jetzt in Rede stehenden Zuckerarten verwandelt werden können. Dadurch erhellt zugleich die Konstitution jener als einfache oder gemischte Anhydride dieser.

*) Nur mit denjenigen, die gleichzeitig das entsprechende Enzym (siehe über dieses Vorlesung 6 und 15) abscheiden.

**) Wäre die frühere Auffassung, wonach der Formel eine Aldehydgruppe zukommen sollte, die richtige, so wäre, wie Tollens (a. a. O. p. 9) hervorhebt, das Fehlen der freiwilligen Oxydation an der Luft nicht wohl zu erklären.

***) Der Sauerstoff hat ja, wie man sich erinnert, ursprünglich seinen Namen daher, weil Verbindungen, in denen er stark vertreten ist, einen sauren Charakter haben.

Sehr vorherrschend in der Form von Glycosen pflegen die Kohlenhydrate in den vegetativen Organen *) der verschiedensten Pflanzen enthalten zu sein, und dadurch ist genügend die hohe physiologische Bedeutung dieser Zuckerarten ins Licht gesetzt. Als *eigentliche Reservestoffe* spielen dagegen Trauben- und Fruchtzucker keine hervorragende Rolle. — Die Ansammlung in Früchten, aus welchen beim Trocknen namentlich der erstgenannte auskrystallisiert (Feigen), entspricht keinem Reservevorrat, wie wir kürzlich schon hervorgehoben haben, ebensowenig natürlich dessen Vorkommen in den Nektarien von Blüten, in welchen sie nur eine biologische Bedeutung haben und aus welchen sie in den durch Insekten gesammelten Honig übergehen.

Von weiteren Eigenschaften und Reaktionen der beiden Zuckerarten sind noch zu nennen: deren Leichtlöslichkeit in Wasser und Alkohol, ihr süsser Geschmack, der sich indessen nicht mit dem des Rohrzuckers messen kann, und dann namentlich die schon erwähnte (übrigens quantitativ nicht ganz identische) Reduktion alkalischer Kupferlösungen, welche sogar zu quantitativen Bestimmungen dieser Zuckerarten in Pflanzensäften und dergleichen benutzt und in der That nur von einer kleinen Anzahl anderer organischer Stoffe geteilt wird. Dieselbe geht langsam schon in der Kälte vor sich, vollständig aber erst in der Nähe des Siedepunkts. Mit ätzenden Alkalien bräunen sich diese Zuckersorten leicht unter Absorption von Sauerstoff und tiefgreifenden Zersetzungen **).

Als *zweite* Gruppe sind dann zu nennen die *Saccharosen*, von welchen der *Rohrzucker* und die *Maltose* die wichtigsten Repräsentanten sind. Dieselben (auch Disaccharide genannt) sind schon von grösserem Molekül, wie sich durch ihre schon geringere Diffusionsfähigkeit ergiebt und zwar kann man sie, wie sich leicht durch die Einleitung der umgekehrten Reaktion zeigen lässt, entstanden denken aus je zwei Molekülen von *Glycosen* unter Abspaltung von Wasser. Aus verschiedenen Glycosen erhält man dabei natürlich verschiedene Saccharosen, so aus zwei Molekülen Dextrose die Maltose, aus einem Molekül Dextrose und einem Lävulose den Rohrzucker. Hier wie überall in der Architektur der grossen wie der kleinen Dinge gilt übrigens die Regel, dass einzureissen leichter ist als aufzubauen, und so ist es leicht, aus Rohrzucker die beiden konstituierenden Bausteine auszuscheiden. Erhitzen mit ein wenig verdünnter Säure ist dafür genügend und bewirkt die Spaltung unter Wasseraufnahme, sogenannte Hydrolyse, oder wie man dies auch wegen der Abänderung des Drehungsvermögens genannt hat, die Invertierung. Daher auch die Bezeichnung des auf diese Weise entstandenen Gemischs von Trauben- und Fruchtzucker als *Invertzuckers*. Die umgekehrte Veränderung, Bildung des doppelten Moleküls unter Wasserentziehung (Kondensierung), gelingt dagegen nur verhältnismässig selten, d. h. künstlich, während sich im lebenden Organismus die Umsetzungen in beiden Richtungen unausgesetzt

*) Im Frühjahrssaft der Hainbuche wurde angeblich ausschliesslich Dextrose gefunden; vergl. Beyer: Jahresbericht f. Agrikulturchemie, 1867, p. 109; in dem der Birke Lävulose; vergl. Schröder, ebenda, 1865, p. 157.

**) Andere Zuckersorten aus der Reihe der Glycosen kommen im Pflanzenorganismus als solche selten vor, die *Sorbose* (früher Sorbin) aus den Vogelbeeren tritt erst im vergorenen Safte auf und für die *Galactose*, die wir als Spaltungsprodukt von Kohlenhydraten von grösserem Molekül noch kennen lernen werden, ist bis jetzt nur das Vorkommen in Epheublättern wahrscheinlich.

vollziehen, da dem Protoplasma ganz wunderbare Kräfte in dieser Beziehung zu Gebote stehen.

Von der grössten praktischen Bedeutung in dieser Gruppe ist bekanntlich der *Rohrzucker*, $C_{12}H_{22}O_{11}$, da er durch seinen besonders süssen Geschmack unter allen Zuckersorten voransteht und aus Pflanzensäften leicht in grosser Reinheit krystallisiert. Derselbe war daher zuerst bekannt, wurde schon in früher Zeit technisch gewonnen und hat den andern Zuckersorten ihren Namen gegeben. Von seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften ist gegenüber den einfachen Glycosen noch hervorzuheben, dass er entsprechend seiner stärkeren Kondensation durch alle möglichen Reagentien, zumal durch die üblichen Oxydationsmittel und Alkalien schwieriger angegriffen wird. Er ist übrigens, wenn auch nicht in demselben Grade wie die Glycosen, in Wasser und Alkohol löslich und dreht die Polarisationsebene des Lichts nach rechts (66,5°).

Physiologisch hat man den Rohrzucker früher vorwiegend als Reservestoff angesehen und in der That spielt er eine solche Rolle in der Zuckerrübe. Aber schon sein reichliches Vorkommen im Sorghum und dem Zuckerrohr, in welch' letzterem er bekanntlich am reichlichsten enthalten ist, und mehr noch das im Mais und im Frühjahrssaft des Zuckerahorns zeigt, dass mit dieser Angabe seine Funktion nicht erschöpft ist. Seitdem die chemischen Methoden, welche früher in dieser Richtung sehr viel zu wünschen übrig liessen, verbessert sind, hat man ihn noch in sehr vielen anderen Pflanzen und in diesen in sehr verschiedenen Teilen, z. B. in Blättern, in Getreidesamen, in Nektarien und in reifen Früchten*), angetroffen, so dass seine Funktion eine sehr vielseitige zu sein scheint. Seiner Konstitution nach ist er, wie die übrigen Körper dieser Gruppe, eine Übergangsform zwischen den Glycosen einerseits, die wir als unmittelbare Nährstoffe des Protoplasmas wie des tierischen Organismus aufzufassen haben, und der sogleich zu besprechenden Polysacchariden, welchen der Charakter von Reservestoffen im höchsten Grade zukommt, andererseits, so dass wir uns nicht wundern dürfen, solchen Zwischenformen in lebenden, stets der chemischen Umsetzung unterworfenen Organismen zu begegnen. Sein reichliches Vorkommen**) im Reservestoffbehälter der Rübe bedeutet dann nur die relative Unfähigkeit dieser Pflanze, den Kondensationsprozess der Kohlenhydrate zu Ende zu führen, eine Eigenschaft, welche der Mensch seines Vorteils wegen durch Züchtung weiter und weiter potenziert hat. Sein Vorwiegen oder Zurücktreten neben den Glycosen im Safte der Früchte ist handgreiflich hauptsächlich bedingt von dem Vorkommen kleinerer oder grösserer Säuremengen in den letzteren, da eben Säuren die Intervertierung in gleiche Teile Dextrose und Lävulose bewerkstelligen.

Die *Maltose*, welche ihrer Konstitution nach in die Gruppe der Saccharosen (oder Disaccharide) gehört, nähert sich in manchen ihrer Eigenschaften mehr den Glycosen, so reduziert sie ziemlich leicht alkalische Kupferoxydlösungen, wenn auch davon 50 %

*) Beispielsweise in Rebenblättern, in Feigen, Äpfeln, Kirschen, Ananas, Melonen, in Johannisbrot, Nüssen, Kastanien, Weizenkorn, in Cactus und Kleeblüten.

**) Über die Mechanik des Übergangs der Glycosen in Rohrzucker in der Pflanze vergl. L. Brasse: Annal. agronom. XII.

mehr notwendig ist als von der Dextrose, um dieselbe Menge Oxydul abzuscheiden. So vergärt sie auch leichter als der Rohrzucker, was mit ihrer Konstitution aus zwei Molekülen Dextrose im Zusammenhang stehen mag, da diese leichter vergärt als Lävulose*), der andere konstituierende Bestandteil des Rohrzuckers. Eines und das andere ist Ursache, dass man die Maltose in den Pflanzen lange übersehen und auf Dextrose gedeutet hat. Nun, da man die Zuckersorten besser voneinander analytisch zu trennen vermag, findet man diese Zuckerart überall in der Pflanze, und da sie, wie wir früher gesehen**), das Endprodukt ist des für die Vorrichtungen desselben so wichtigen diastatischen Prozesses, kann das nicht wunder nehmen.

Die Drehung des polarisierten Lichtes durch die Maltose ist ihrer Konstitution zufolge aus zwei Molekülen rechtsdrehender Dextrose besonders stark und nach rechts (138,3°). Ihre physiologische Rolle ist die eines Übergangsgliedes von noch stärker kondensierten Polysacchariden (Stärke, Dextrin) in Dextrose. Auch bei der künstlichen Inversion derselben mit Säuern kann das vorübergehende Entstehen von Maltose nachgewiesen werden. Dass sie sich weniger anhäuft in der Pflanze als der Rohrzucker, kann in der Richtung der Inversion der leichteren Verwandelbarkeit derselben, in der Richtung der Kondensation dem Umstande zugeschrieben werden, dass für den Rohrzucker Produkte weiterer Kondensation nicht ohne tiefgreifende Veränderung seiner ganzen Konstitution erlangt werden können, während sie für die Maltose gerade von der weitgehendsten Verbreitung sind***).

Als *dritte* Gruppe sind dann weiter die *löslichen Polysaccharide* zu nennen, die als das Produkt noch weiter gehender Kondensationen aufzufassen sind und demzufolge wieder wasserärmer sind und sich durch Hydrolyse zunächst in die Disaccharide und weiterhin die einfachen Glycosen intervertieren lassen.

Wie indessen die Eigenschaften der Leichtlöslichkeit in Wasser und Alkohol schon in den Disacchariden etwas abgeschwächt war, so tritt diese Veränderung in den Polysacchariden noch deutlicher hervor und offenbart sich namentlich in einer völligen Unlöslichkeit derselben in Alkohol, durch welchen dieselben leicht von allen Zuckersorten getrennt werden können. Auch der süsse Geschmack ist verschwunden.

Wenn in der zweiten Gruppe schon der Rohrzucker die Rolle eines gelegentlichen Reservestoffes spielte, so ist dies für die meisten Glieder der dritten Gruppe noch entschiedener der Fall. Als Repräsentant eines solchen ist hier namentlich das *Inulin*, auch Helenin oder Dahlin, zu nennen, dem vorläufig wie den anderen Kohlenhydraten dieser Gruppe die natürlich empirische Formel $C_6H_{10}O_5$ gegeben wird. Die notwendig viel grössere Strukturformel ist unbekannt, da hierzu vor allem die Bestimmung der Anzahl der Glycosemoleküle fehlt, welche sich zum Inulinmolekül kondensiert haben. Dagegen ist hinsichtlich der näheren Konstitution wohl bekannt, dass ausschliesslich Moleküle der linksdrehenden Lävulose an dem

*) Daher nicht völlig vergorene Weine schwach links drehen — ein wichtiges Hilfsmittel zum Nachweis von Weinverfälschung durch Dextrose (Kartoffelzucker) oder Rohrzucker.

**) Siehe die sechste Vorlesung.

***) Andere in diese Gruppe gehörige Stoffe sind noch der *Milchzucker*, der aber im Pflanzenreiche nur schwach vertreten ist, die Melezitose in der Larix-Manna, die *Raffinose* des Baumwollsamens und der Zuckerrübe u. a.

Aufbau des Inulins teilgenommen haben, denn durch die in diesem Falle besonders leicht zu bewerkstelligende Hydrolyse, z. B. mittelst verdünnter Säuren, wird ausschliesslich Lävulose gebildet; daher auch das Inulin selber, wenn auch schwach (36,5°) links dreht.

Die für die ganze Gruppe charakteristische Reaktion: Unlöslichkeit in Alkohol, ist ein Mittel, um die Anwesenheit des Inulins in manchen Pflanzenteilen zu demonstrieren. Man braucht nur einen solchen, z. B. Knollenteile von Topinambur oder Dahlia, eine Zeit lang in starken Alkohol zu legen und dann mikroskopische Schnitte durch dieselben zu machen, um schöne kugelförmige krystallinische Bildungen, sogenannte Sphärokrystalle, wahrzunehmen, die aus dem fraglichen Kohlenhydrate bestehen. Vergl. Fig. 8.

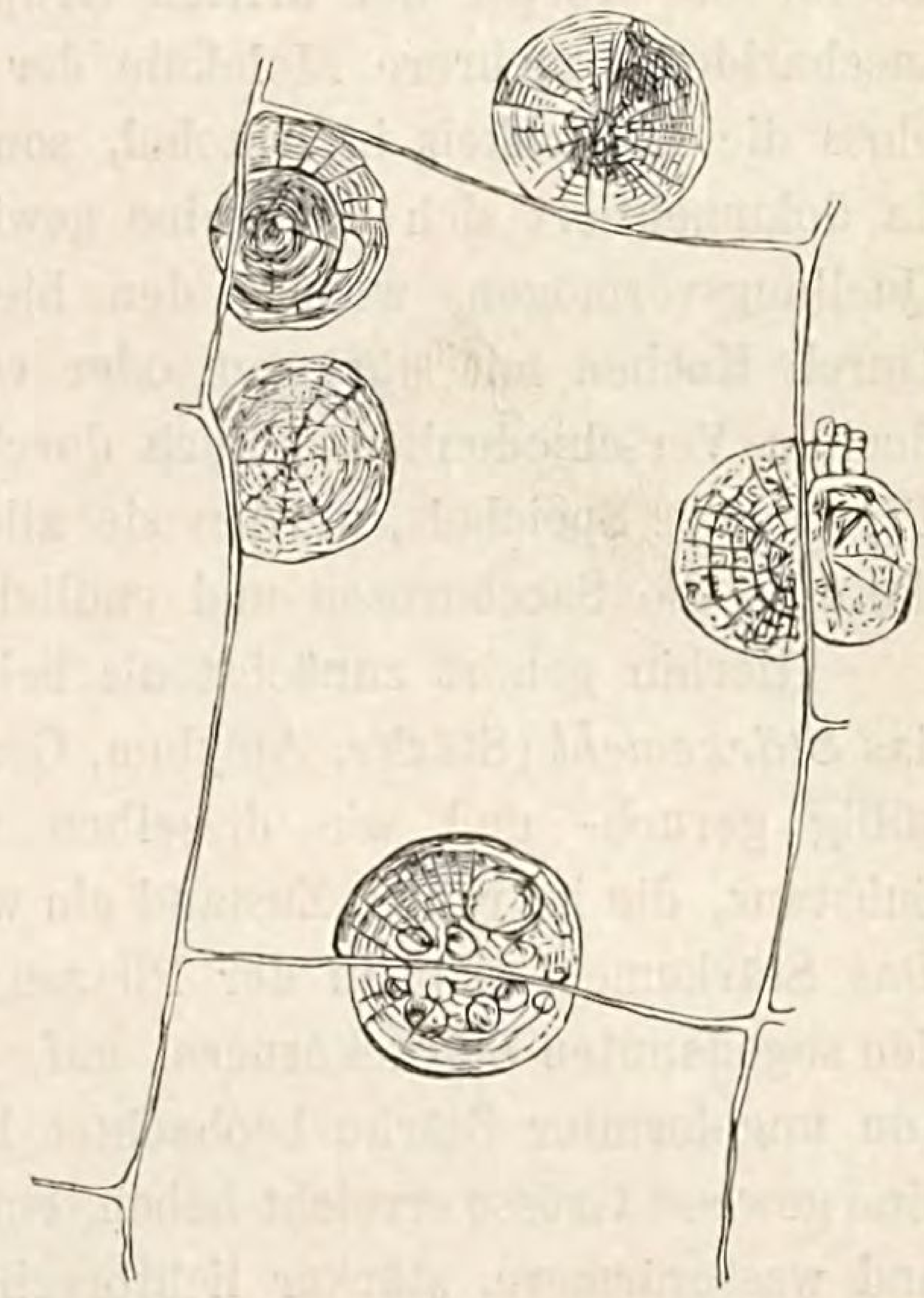


Fig. 8. — Inulinkrystalle aus der Knolle von Dahlia variabilis.

Direkt gärfähig ist das Inulin ebensowenig wie die anderen zu dieser Gruppe gehörigen Kohlenhydrate.

Das Inulin ist ein ziemlich verbreiteter Reservestoff und als solcher wie als Nährstoff der Tiere den übrigen Di- und Polysacchariden völlig gleichwertig. Wir haben es nur als eine Eigentümlichkeit gewisser Pflanzenarten ohne alle weiteren physiologischen Konsequenzen zu betrachten, dass in ihnen die Nährstoffe für eine neue Vegetationsperiode in dieser Form abgelagert werden, während bei der endgültigen Verwendung dieses Stoffes zur Neubildung derselbe genau wie irgend ein anderer Reservestoff in eine Zuckerart verwandelt wird, mit der wir das Protoplasma der Zellen sich entfaltender Organe erfüllt sehen. Solche Pflanzen sind zunächst die Inula Helenium, in deren Saft das Inulin zuerst aufgefunden worden ist und von welcher Pflanze es seinen Namen empfangen hat, dann ferner die Dahlia, Cichorie, Sonnenblume und Topinambur (sämtlich Kompositen), in deren Wurzeln oder Knollen das Inulin regelmässig vorkommt*).

Eine wesentlich andere Rolle spielt das *Dextrin* (oder Dextrin-Gummi, auch englisches Gummi), seines Vermögens halber, die Ebene des polarisierten Lichtes zum Unterschiede vom eigentlichen (arabischen) Gummi sehr stark nach rechts (194,8°) zu drehen, so genannt. Dasselbe wird ausser im Keimungsstadium selten in lebenden Pflanzen vorgefunden und ist vorzüglich, wie auch ausserhalb der Pflanze, als eine Übergangsstufe zwischen Stärke und Maltose resp. Dextrose zu betrachten.

*) Über das Vorkommen von Inulin im Pflanzenreiche vergl. Prantl: Das Inulin. München 1870, p. 41—51; und Dragendorff: Material zu einer Monographie des Inulins 1870.

Ferner wäre in dieser Gruppe etwa noch das *Lichenin*, der stickstofffreie Reservestoff des isländischen Mooses, zu nennen, der mit verdünnten Säuren ebenso wie das Dextrin Dextrose liefert.

Als *vierte* Gruppe wünschte ich für unseren Zweck die ungefähr ebenso stark kondensierten, aber noch stärker polymerisierten *unlöslichen Polysaccharide* zu nennen, denen physiologisch ausschliesslich der Charakter von Reservestoffen oder Baustoffen der Zellwand zukommt.

Die empirische Formel derselben ist nach dem Gesagten dieselbe als für die dritte Gruppe $C_6 H_{10} O_5$; aber die wahre noch nicht bekannte Formel ist grösser als für die Körper der dritten Gruppe, so dass ein Molekül der unlöslichen Polysaccharide in mehrere Moleküle der löslichen auseinanderfällt und demgemäss nicht bloss die Löslichkeit in Alkohol, sondern auch die in Wasser verloren geht. Nur da dokumentiert sich noch eine gewisse Affinität zu diesem Lösungsmittel durch das Quellungsvermögen, welches den hierhin gehörigen Körpern ausnahmslos zukommt. Durch Kochen mit stärkeren oder verdünnteren Säuren, langsamer und mit individuellen Verschiedenheiten auch durch spezifische Enzyme wie die Diastase oder das Ptyalin des Speichels, werden sie alle zunächst in die entsprechenden löslichen Stoffe, dann in die Saccharosen und endlich in die Glycosen umgewandelt.

Hierhin gehört zunächst als bekanntester, bereits vielfach erwähnter Körper*): das *Stärkemehl* (Stärke, Amylum, Granulose, Satzmehl), eine wie alle Kohlenhydrate völlig geruch- und wie dieselben mit Ausnahme der Zucker auch geschmacklose Substanz, die im reinen Zustand ein weisses Pulver darstellt, das beim Reiben knirscht. Das Stärkemehl tritt in der Pflanze stets in mehr oder minder kugeligen Körnern, den sogenannten Stärkekörnern, auf. Nur in einzelnen Fällen will man das Auftreten von ungeformter Stärke beobachtet haben **). Die Stärkekörner besitzen, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, eine eigentümliche Struktur, so dass wasserhaltigere und wasserärmere, stärker lichtbrechende und weniger stark lichtbrechende Schichten miteinander abwechseln.

Die Stärkekörner an sich sind an Gestalt und Grösse in verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteilen durchaus verschieden und vielfach für diese charakteristisch. Dieselben sind in den Behältern, wo *dauernde Ablagerung* erfolgt und wo lange Zeit die Bedingungen zur Wiederauflösung nicht vorhanden sind, von *viel bedeutenderer Grösse* als in den Organen, wo nur eine ganz vorübergehende Ablagerung stattfindet, wie in den Chlorophyllkörnern, denen bei den meisten Pflanzen Stärkekörner von ausserordentlicher Kleinheit eingebettet sind, und in den stärkeführenden Geweben auf dem Wanderungswege. Solche kleinere Körner zeigen meistens noch keine deutliche Differenzierung in verschiedenen Schichten; vergl. Fig. 9.

Die verhältnismässig grossen Stärkekörner, wie wir sie in den Reservestoffbehältern der Samen und Knollen vorfinden, unterscheiden sich nun wieder durch

*) Über die vermutliche Konstitution des Stärkemehls vergl. Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch., 1893, p. 2533.

**) Vergl. Schleiden und Dragendorff in S. W. Johnson's: Wie Pflanzen wachsen; deutsch, 1871, p. 56.

Grösse und Gestalt je nach ihrem Vorkommen in den verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteilen. Bekanntlich kann man leicht unter dem Mikroskope die Kartoffelstärke (Stärkekörner der Kartoffelknolle) von der Weizenstärke (Stärkekörner des Weizensamens) durch die verhältnismässige Grösse der ersten Körner unterscheiden, und weitere Unterschiede, wenn auch nicht so krasse, zeigen sich für die Stärkekörner des Samens verschiedener Getreidearten. Es ist damit eine sehr brauchbare Kontrolle gegen etwaige Verfälschungen der einzelnen Stärkesorten durch andere gegeben*). Die Stärke des Handels hat nämlich trotz der beinahe vollständigen Identität der chemischen Substanz des Stärkemehls je nach dem Ursprung derselben doch einen verschiedenen Wert, schon wegen der ungleichen Grösse der Stärkekörner, wodurch sie zu manchen Zwecken verschieden geeignet sind, und auch wegen der anhaftenden Unreinigkeiten. Aber auch die Stärkekörner verschiedener Ablagerungsgewebe einer und derselben Pflanze, z. B. der Knollen und der Früchte, sind einander ebenso unähnlich.

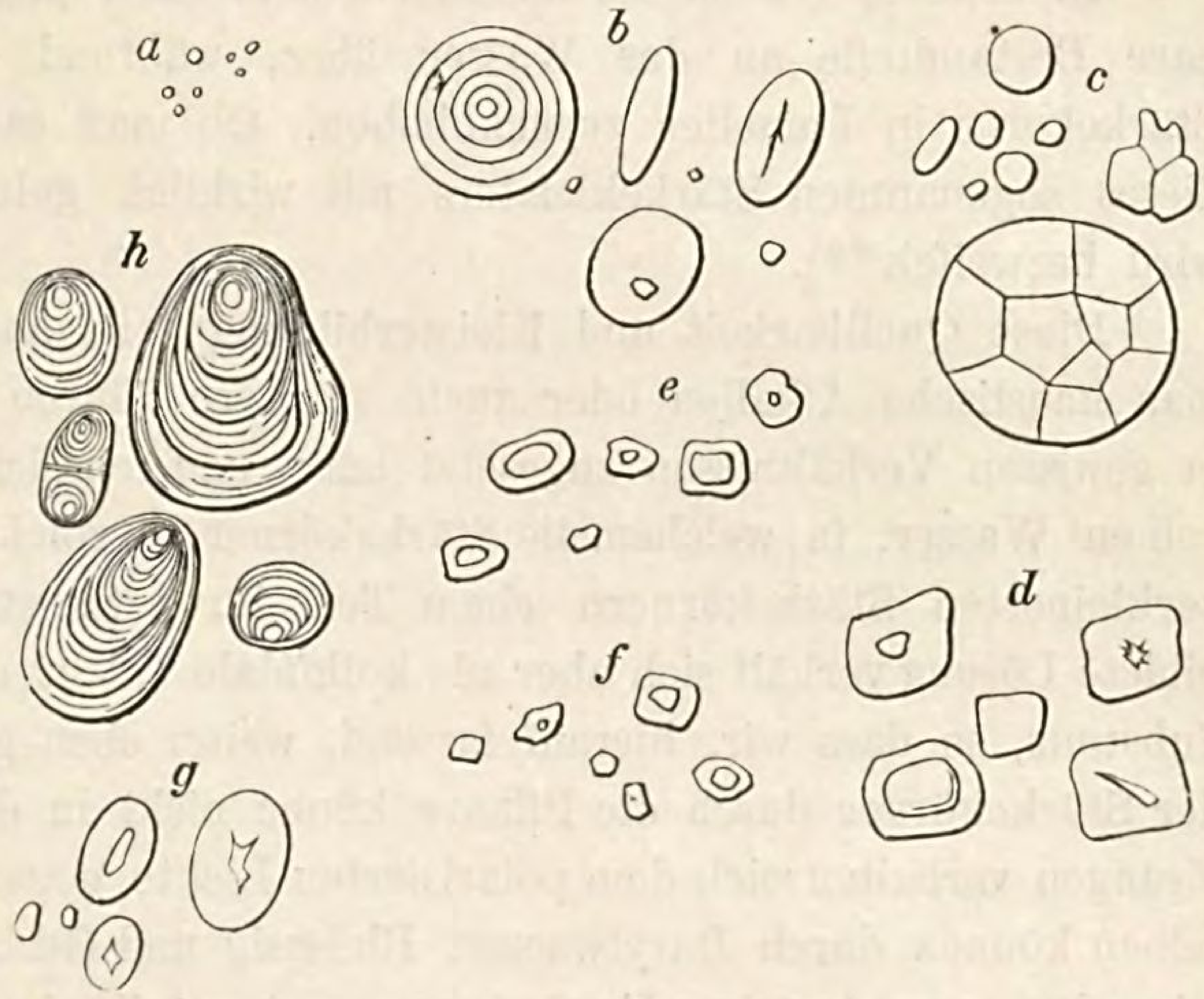


Fig. 9. Stärkekörner*).
(Vergrösserung 450 mal, bei b und g 300 mal.)

a) in den Chlorophyllkörnern und in den Möhren.
b) im Weizenkorn.
c) im Haferkorn.
d) im Maiskorn.
e) im Hirsekorn.
f) im Haidekorn (Buchweizen).
g) im Bohnensamen.
h) in der Kartoffelknolle.

*) Nach Kühns: Ernährung des Rindviehs.

Was nun diese eigentümliche Gestaltung der Stärkekörner betrifft, so hat man in ihr früher, da es nicht gelang, dieselbe künstlich nachzubilden, eine *Organisation* erkennen wollen, die sich z. B. der Organisation einer Zelle, die wir auch künstlich nachzubilden zur Zeit unfähig sind, an die Seite stelle. Allein man hat später Thatsachen kennen gelernt, die es wahrscheinlich machen, dass jene Gestaltung bei genügend langsamer Ausscheidung aus Lösungen auch *nicht organisierten* und sogar *unorganischen* Stoffen zukommt, und dass nur unsere Unfähigkeit, überhaupt Stärkemehl langsam aus Lösungen niederzuschlagen (da wir dasselbe ohne chemische Umwandlung nicht lösen und chemisch

*) Über die durchschnittliche Grösse der Stärkekörner in einzelnen Pflanzen hat Payen umfassende Angaben gemacht. Dieselbe schwankt von 0,185 mm bei der Kartoffel bis zu 0,002 mm beim Samen von Chenopodium quinoa. Roggen-, Weizen- und Gerstenstärke gleichen einander sehr, ebenso die Stärkekörner mehrerer Leguminosensamen untereinander, doch können sie zuweilen durch die nicht ganz identischen Quellungstemperaturen unterschieden werden.

verändertes nicht zurückverwandeln können), daran schuld ist, dass wir jene merkwürdigen Bildungen nicht auch ausserhalb des Organismus veranlassen können. Es ist nämlich Famintzin*) gelungen, durch Vermischen von Chlorcalcium und kohlensaurem Kali unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln den sich ausscheidenden kohlensauren Kalk zu veranlassen, nicht bloss Form, Differenzierung der Schichten etc. der Stärkekörner, sondern auch bis zu einem gewissen Grade deren Wachstumserscheinungen zu zeigen.

In heissem Wasser ist das Stärkemehl stark quellbar, und es gehen dabei filtrierbare Bestandteile an das Wasser über, während einzelne ungelöste Partieen des Stärkekorns in Lamellen zurückbleiben. Ob man es aber in den filtrierbaren Teilen dieses sogenannten Stärkekleisters mit wirklich gelöstem Stärkemehl zu thun hat, wird bezweifelt**).

Diese Quellbarkeit und Kleisterbildung tritt auch in kaltem Wasser ein, dem man kaustische Alkalien oder auch stärkere Säuren und einige andere Substanzen in gewissen Verhältnissen zugesetzt hat; und endlich gelingt es auch, mit kaltem reinen Wasser, in welchem die Stärkekörner als solche unlöslich sind, den mechanisch-zerkleinerten Stärkekörnern einen Teil ihrer Substanz zu entziehen. Die so gebildete Lösung verhält sich aber als kolloïdale (nicht durch Membranen diffundierbare) Substanz, so dass wir, hierauf fussend, weiter oben geschlossen haben, der Transport der Stärkekörner durch die Pflanze könne nicht in dieser Form stattfinden. Stärkelösungen verhalten sich dem polarisierten Lichte gegenüber stark rechtsdrehend. Dieselben können durch Barytwasser, Bleiessig und Gerbsäure wieder gefällt werden. — Die eben angedeuteten Erscheinungen der teilweisen Löslichkeit des Stärkekorns, während Lamellen von ungelöster und noch zusammenhängender Substanz zurückbleiben, deuten auf eine chemische Verschiedenheit der in den Stärkekörnern abgelagerten organischen Stoffteilchen hin.

Das Stärkemehl zeigt eine Reaktion, die für dasselbe in einer jeden Form, auch als Kleister völlig charakteristisch ist, und deshalb auch als mikrochemische Reaktion da, wo die Körner ihrer Kleinheit wegen oder aus sonst einem Grund nicht sofort als Stärkekörner erkannt werden können, die ausgedehnteste Verwendung findet. Es ist dies die bekannte Jodreaktion, die Fähigkeit des Stärkemehls, das Jod, welches ihm z. B. in der Form einer wässrigen alkoholischen Lösung dargeboten wird, rasch zwischen seine Teilchen einzulagern, sich chemisch locker mit ihm zu verbinden, infolge wovon eine *intensive Blaufärbung des Stärkemehls* eintritt. Wärme wirkt dieser Reaktion entgegen, so dass die blaue Jodstärke durch

*) Verhandlungen des Naturh.-Mediz. Vereins zu Heidelberg, 1869, B. V, p. 18. Ähnliche Beobachtungen waren schon früher von Robin und Verdeil (siehe ebenda) an dem aus dem Pferdeharn sich ausscheidenden kohlensauren Kalk gemacht worden. Bei Ausscheidung von Kieselsäure nach Vermischen von Fluorkieselgas und Wasserdämpfen scheinen auch ganz analoge Beobachtungen gemacht worden zu sein.

**) Über die verschiedenen Modifikationen des Stärkemehls und die Übergangssubstanzen zum Dextrin vergl. namentlich W. Nägeli: Beiträge zur näheren Kenntnis der Stärkegruppe, 1874. Daselbst die ausführlichsten Litteraturzusammenstellungen.

einfaches Erwärmen gebleicht werden kann, wonach sie sich dann durch Abkühlung wieder bildet.

Von weiteren Reaktionen, die wichtig genug sind, um hier Erwähnung zu finden, ist dann die Umwandlung des Stärkemehls und Stärkekleisters in Traubenzucker (oder Vorstufen desselben) zu nennen, die, wie schon angedeutet, durch *verdünnte Mineralsäuren*, am raschesten durch Kochen*) mit solchen, oder auch durch den in vielen keimenden Samen auftretenden stickstoffhaltigen fermentartigen Stoff, die *Diastase*, und endlich durch einige Enzyme des tierischen Körpers, das im Speichel enthaltene *Ptyalin* und das in dem Pankreassafte enthaltene *Pankreatin*, bewirkt werden kann**). Nach der ersten Methode findet die Zuckerbildung aus Stärkemehl bei der Bereitung des Kartoffelzuckers (Glycose-, Stärkesyrupfabrikation), nach der zweiten bei der Keimung stärkeführenden Samens und bei dem Maischprozesse in der Bierbrauerei etc., nach der letztgenannten bei der tierischen Verdauung statt. Das Stärkemehl geht auch durch blosses Erhitzen auf 160° C. in Dextrin über, wovon bei der Dextrinfabrikation Nutzen gezogen wird.

Aus der schon mehrfach besprochenen Rolle, die das Stärkemehl in der lebenden Pflanze spielt, geht seine allgemeine Verbreitung in der Pflanzenwelt schon zur Genüge hervor. In grösster Menge finden wir es in den Reservestoffbehältern der Samen und der Knollen etc. angehäuft, und diese sind es auch hauptsächlich, die der Landwirt in unsern gewöhnlichen Kulturgewächsen, welche als Nahrungsmittel dienen sollen, erntet, und in vielen von diesen Samen und Knollen ist es gerade der Gehalt an Stärkemehl, der ihnen vorzüglich einen Nahrungswert verleiht.

Es ist daher von doppeltem Interesse, den durchschnittlichen Stärkemehlgehalt unserer sogenannten Feldfrüchte kennen zu lernen. Ich teile daher ein kleines Verzeichnis desselben mit.

Weizen	57—73 %	Reis	62—86 %
Roggen	56—66 %	Linsen	40 %
Gerste	53—71 %	Erbsen	32—39 %
Hafer	43—60 %	Kartoffeln	15—23 %.
Mais	51—65 %		

Die Mehlsorten, die aus den Getreidekörnern dargestellt werden, sind, da sie vorzugsweise aus den inneren stärkereicheren Teilen des Korns dargestellt werden, oft noch viel reicher an Stärkemehl.

An das Stärkemehl reiht sich nun ganz dicht an der ebenso zusammengesetzte Körper**):

die *Cellulose* (auch Zellstoff, Holzfaser, Pflanzenfaser, in unreiner Form bei der Futteranalyse gewonnen, auch Rohfaser genannt), ein Stoff, aus dem die *Zellwandungen der Pflanze*, sowie auch einiger niedrigen tierischen Formen hauptsächlich,

*) Salzsäure bei Hochdruck wirkt am schnellsten.

**) Das Glycogen, „das Stärkemehl des Tierreichs“, scheint nach neueren Untersuchungen von Errera (Mém. d. l'Acad. roy. d. Belg., T. 37, referiert in Naturforscher, 1885, p. 182) auch das Stärkemehl der Pilze zu sein, wird aber von mir als für den Stoffwechsel der höheren Pflanzen von keiner Bedeutung zur Seite gelassen.

die jungen Zellwandungen sogar beinahe ausschliesslich gebildet werden, der also wie das Stärkemehl eine ganz hervorragende Rolle im Pflanzenleben spielt.

Die Eigenschaften der Cellulose sind in vielen Stücken denen des Stärkemehls sehr ähnlich; sie ist wie dieses im kalten Wasser unlöslich, geruch- und geschmacklos und völlig ungefärbt; sie quillt aber, zum Unterschied vom Stärkemehl, auch in heissem Wasser nicht erheblich (stärker in angesäuertem Wasser), zeigt ohne weiteres keine Blaufärbung mit Jod und lässt sich nicht einfach durch Kochen mit verdünnten Säuren oder durch Behandeln mit Diastase, Ptyalin etc. in Dextrin und später in Zucker überführen. Bei dieser Resistenz auch gegen die Verdauungsfermente war es lange rätselhaft, wie die Cellulose bei der tierischen Verdauung bewältigt werden konnte, bis in neuester Zeit mehr und mehr wahrscheinlich gemacht wurde, dass diese scheinbare Verdauung grossenteils auf einem Gärungsprozesse in den Därmen der Pflanzenfresser beruht*). Die Cellulose zeigt, ähnlich wie das Stärkemehl, in der Form, wie sie in der Pflanze abgelagert wird, Differenzierung der Schichten, was durch successive Auflagerung verschieden wasserhaltiger Lagen erklärt wird. Der Zellstoff, die Cellulose, ist der einzige für ihre Konstitution wesentliche organische Bestandteil der Zellhaut, und jugendliche Zellhäute enthalten häufig wohl keine anderen organischen Substanzen in sich als diese.

Wir müssen zur Unterscheidung von solchen anderen an dem Aufbau der Zellhaut gelegentlich sich beteiligenden Substanzen noch einige Reaktionen der Cellulose hier anführen. Dieselbe löst sich vollständig in ziemlich konzentrierter Schwefelsäure und zeigt alsdann unter Einhaltung bestimmter Verhältnisse, wenn auch weniger haltbar, die für Stärkemehl charakteristische Jodreaktion**), zudem die äusserlichen Eigenschaften des Stärkekleisters***); verdünnt man alsdann mit Wasser und erhitzt, so erhält man, gerade wie aus dem Stärkemehl durch Behandeln mit verdünnter Schwefelsäure, Dextrin und später Zucker, eine Reaktion, die natürlich auch technisch von der grössten Bedeutung ist, indem sie z. B. erlaubt, wohlfeile Holzabfälle zur Alkoholproduktion heranzuziehen. Man kann also sagen, dass sich die Cellulose durch konzentrierte Schwefelsäure in eine Substanz verwandelt, die als Stärkekleister zu betrachten ist. Unterwirft man die Zellwandungen von Pflanzen einer solchen Behandlung, so findet man, dass manche dieser Zellhäute sich völlig lösen, andere aber, besonders ältere und „verholzte" Zellhäute ein Skelett hinterlassen, das aus eigentümlichen organischen Substanzen, die wir später einer kurzen Betrachtung unterziehen werden, bestehen, aus welchem Verhalten also die Beteiligung dieser anderen Substanzen an dem Aufbau der Zellhäute hervorgeht.

Andererseits zeigt sich die Cellulose resistent gegen eine Reihe von energischen Lösungs- und Zersetzungsmitteln, durch die umgekehrt jene eingelagerten fremden Substanzen entfernt werden können. Hierhin gehören die erhebliche, wenn auch

*) Vergl. Tappeyner: Ber. der deutsch. chem. Gesellsch., XV, p. 999a.

**) 1 gr Baumwolle mit einem Gemisch von 6 gr Wasser und 24 gr englischer Schwefelsäure eingerührt.

***) Auf dieser äusserlichen Verkleisterung der Holzfaser, wodurch dieselben zu einer dichten membranartigen Masse zusammenschmelzen, beruht auch die Darstellung des bekannten, für die Technik unentbehrlichen Pergamentpapiers.

wahrscheinlich nicht absolute *Widerstandsfähigkeit gegen verdünnte Säuren*, dazu die *Widerstandsfähigkeit der Cellulose gegen verdünnte Alkalien* und *gegen ein Gemisch von Salpetersäure und chlorsaurem Kali.* Unterzieht man pflanzliche Zellhäute der Behandlung mit diesen Mitteln, so gelingt es durch geeignete Kombinationen, die anderen organischen Substanzen vollständig zu entfernen, und es resultiert dann *unter allen Umständen* ein völlig ungefärbtes Skelett von der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$, *wodurch also die Anwesenheit der Cellulose in einer jeden Zellhaut der höheren Gewächse dargethan ist.*

Es ist dies ein Verhalten, das in der Fütterungschemie wohl beachtet werden muss. Cellulose ist der wesentlichste Bestandteil der Zellhäute im reinsten Zustande. Daneben wird unterschieden bei der Futteranalyse *Rohfaser*, die eine nach bequemen Methoden gewonnene, noch verunreinigte (von höherem Kohlenstoffgehalte als 44%) Cellulose ist. Beide indessen sind chemische Begriffe und decken sich nur sehr unvollständig mit dem anatomischen Begriff von Zellhaut.

Die reine Cellulose, die an sich keine Blaufärbung, sondern höchstens nur eine sehr schwache Rotfärbung mit Jodtinktur giebt, zeigt, wie schon angedeutet, nach dem Behandeln mit (80prozentiger) konzentrierter Schwefelsäure diese Reaktion, die auch in der Mikrochemie mannigfache Anwendung findet, und scheint so völlig in Stärke verwandelt zu sein. Eine weitere der Cellulose eigentümliche Reaktion ist ihre Löslichkeit in Kupferoxyd-Ammoniak. Aus der Lösung in diesem Reagens lässt sich die Cellulose durch Säuren in Gestalt eines weissen amorphen Pulvers chemisch unverändert wieder ausfällen. Entsprechend der chemischen Verwandelbarkeit hat auch der protoplasmatische Zellsaft unter gewissen Umständen — dies wird bei der Keimung der Dattel und vieler anderen Samen*) deutlich — die Befähigung, die Cellulose (unter einer noch nicht ganz aufgeklärten Umwandlung) in sich zu lösen und als Stärkekörner, also vorwiegend als wirkliche Stärke wieder abzusetzen und ebenso, unter anderen noch häufiger eintretenden Umständen das Umgekehrte zu bewirken.

Die Cellulose wird in den Pflanzen, wie man aus dem Gesagten schon erschliessen kann, hauptsächlich gebildet in der Zeit, wo das grösste Wachstum (Längsstreckung und Neuanlage von Organen) erfolgt, was nicht immer mit der grössten Massenzunahme zusammenzufallen braucht. So fand Arendt die Haferpflanze während des Schossens zu etwa ein Drittel der Trockensubstanz aus Cellulose bestehend, während später in der Periode des Reifens dieses Verhältnis durch vorherrschende Stärkebildung auf ein Viertel sank.

Sonst sind in den geernteten Teilen unserer gewöhnlichen Kulturgewächse, berechnet auf den lufttrockenen Zustand, etwa folgende Mengen von Cellulose vorgefunden worden:

Weizenkorn	3,0 %	Roter Klee (i. d. Blüte)	10 %
Weizenmehl	0,7 „	Grasheu	34 „
Maiskorn	5,5 „	Maisstroh	38 „
Gerste	8,0 „	Haferstroh	40 „
Hafer	10,3 „	Weizenstroh	48 „
Buchweizen	15,0 „	Roggenstroh	54 „ .

*) Z. B. Spargel-, Zwiebelsamen. Vergl. eine Studie über diesen Gegenstand von Reiss: Ber. d. deutsch bot. Gesellsch., 7, p. 322.

Schliesslich muss ich noch darauf aufmerksam machen, dass manche Zellwandungen der allerniedrigsten Pflanzen nicht aus Cellulose zu bestehen, *überhaupt keine Cellulose in sich zu enthalten scheinen.* Das Gewebe des Flechtenlagers und das der meisten Pilze besteht aus einem organischen Stoffe, der auch nach Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure mit Jod eine Blaufärbung nicht zeigt. Scheinbar ähnliches beobachtet man auch bei stark cuticularisierten oder verholzten Zellhäuten der höheren Gewächse; *hier* gelingt es aber, wie es scheint, in allen Fällen nach Entfernung jener andern Stoffe durch geeignete Mittel, die Bläuungsfähigkeit durch Jod und Schwefelsäure hervorzurufen.

Als einen dritten Repräsentanten der Gruppe der unlöslichen Polysaccharide muss ich endlich einen Körper nennen, der chemisch noch wenig gekannt und unsicher benannt ist, dem aber für die praktische Landwirtschaft eine so hohe Bedeutung zukommt, dass man schwer begreift, wie so lange über denselben weggesehen werden konnte, das *Galactan* (Paragalactan), so genannt, weil es bei der Inversion hauptsächlich Galactose liefert, also als Kondensationsprodukt dieses zu den Glycosen gehörigen Körpers angesehen werden muss. Ein derartiger Stoff wurde, namentlich durch die einschlagenden Untersuchungen von E. Schulze, in den Samen der Leguminosen als Bestandteil der Zellwände aufgefunden.

Wenn man in den gebräuchlichen Fütterungstabellen die Zusammensetzung von Lupinensamen nachsieht, so findet man ungefähr, neben 13 % Wasser und 4 % mineralischer Stoffe, 35 % Roh-Eiweiss, 5 % Fett und 14 % Cellulose, was zusammen eine Summe ausmacht von etwa 71 %. Der Rest von etwa 29 % wird als stickstofffreie Extraktstoffe bezeichnet und es ist bekannt, dass sich dieser letztere Ausdruck (einige Verunreinigungen der Extraktstoffe durch Gerb- und andere Säuren zur Seite gelassen) ungefähr deckt mit dem von an sich oder in verdünnten Säuren löslichen Kohlenhydraten, also mit denselben Stoffen, welche wir schon als Glycosen, Disaccharide und Polysaccharide besprochen haben. Nun entsteht aber die Frage: Welches sind die Kohlenhydrate der Lupine? — Sie enthält keinen Zucker und kein Stärkemehl, kein Dextrin und Inulin. — Mit der Antwort auf diese Frage war man bis vor kurzer Zeit verlegen. In geringerem Maasse bestand dieselbe Frage bei den stärkeführenden Leguminosensamen, bei den Erbsen, Bohnen und Linsen. Während bei den stärkeführenden Getreidesamen die Angaben über Gehalt an Stärkemehl und den an Extraktstoffen ungefähr übereinstimmen, war bei jenen ein breites Defizit von 10 oder mehr Prozenten. In allen diesen Fällen sind also stickstofffreie Extraktstoffe anwesend, welche nicht durch bekannte Kohlenhydrate gedeckt werden können.

Die eben gestellte Frage wird nun durch die neuerdings in dieser Richtung unternommenen Versuche befriedigend gelöst, indem durch sie darauf hingewiesen ist, dass das Galactan berufen ist, diese Lücke auszufüllen. Dasselbe wurde bisher übersehen, weil es in Wasser un- oder schwerlöslich ist wie das Stärkemehl, aber nicht wie dieses in besonderen, mikroskopisch leicht erkennbaren und durch Schlämmen abscheidbaren Körnern in den Zellen niedergelegt, sondern auf oder in der Zellwand abgelagert wird, — weil es überdies keine so charakteristische Reaktion besitzt, die den qualitativen Nachweis überall gestattet, wie das Stärkemehl eine solche gegenüber dem Jod bethätigt.

Wir haben schon bei der Besprechung der Cellulose Gelegenheit genommen, darauf hinzuweisen, wie wenig der anatomische Begriff Zellhaut sich mit dem chemischen der Cellulose deckt. Durch die soeben gemachte Mitteilung über den Platz der Ablagerung des Gallactans wird dieser Hinweis noch ausserordentlich verstärkt. An der Verdickung beim Wachsen der Zellwände, namentlich in den Reservestoffbehältern nehmen ausser Cellulose und den später zu behandelnden inkrustierenden Stoffen von ganz abweichender Zusammensetzung noch Stoffe teil von der Zusammensetzung der Cellulose selber, die sich aber hinsichtlich der Löslichkeit sehr günstig von derselben unterscheiden. Davon bildet bei der Inversion ein Teil Galactose und dieser Teil wird Galactan genannt.

Wenn also, wie wir früher gesehen, die Zellwände der Phytelephas, des Dattelkerns und anderer Samen beim Keimen verbraucht werden und als Reservestoff dienen für die Ernährung der jungen Pflanze, so ist die Deutung, dass diese Löslichkeit die Cellulose selber betreffe, willkürlich und muss erst durch weitere Untersuchungen ausgemacht werden, ob diese Erscheinung nicht in allen Fällen auf andere Kohlenhydrate von der Löslichkeitsstufe des Stärkemehls wie das Galactan zurückzuführen ist.

Durch das Gesagte ist die physiologische Rolle des Galactans genügend angedeutet und auch über die chemischen Eigenschaften desselben sind bei der noch so neuen Bekanntschaft mit demselben keine Besonderheiten mehr hinzuzufügen.

Neunte Vorlesung.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanzen (Fortsetzung). — Anhang zu den Kohlenhydraten. — Die Fette, Wachse u. dergl.

Neben den wichtigsten Stoffen aus der Gruppe der Kohlenhydrate, welchen die vorige Vorlesung gewidmet wurde, haben wir dann infolge der sehr fruchtbaren neueren Untersuchungen auf diesem Gebiete zu unterscheiden die *Pentaglycosen* oder Pentosen und deren Kondensationsprodukte, Stoffe, von deren Existenz man bis vor kurzem noch gar nichts wusste und deren An- oder Abwesenheit doch so häufig für den physiologischen Wert eines Substanzgemisches entscheidet.

Nachdem neuerdings die kohlenhydratähnlichen Stoffe mit den bedeutenden Mitteln der modernen organischen Chemie in Angriff genommen worden sind, hat man bemerkt, dass manche glycoseartigen Stoffe, namentlich die, welche man aus dem Arabin bereitet hatte, in mancher Hinsicht ein grundverschiedenes Verhalten zeigten, trotzdem dass die Übereinstimmung in der Zusammensetzung so gross war, dass man zunächst über die bestehenden Unterschiede hinweggesehen hatte. Als Hauptunterschied kann vorangestellt werden die *Nichtvergärbarkeit* der betreffenden Stoffe, eine Eigenschaft, die schon auf eine Inferiorität in physiologischer Beziehung deutlich genug hinweist, ebenso wie deren unveränderte Abscheidung im Urin. Als hauptsächliches chemisches Unterscheidungsmittel kann genannt werden, dass diese

glycoseähnlichen Körper beim starken Erhitzen mit Salzsäure sich auf eine eigentümliche Weise zersetzen und dabei Furfurol liefern, mit Hilfe von welcher Reaktion auch eine annähernde chemische Bestimmung möglich ist.

Mit Hilfe dieser Reaktion sind dann eine Reihe der gewöhnlichsten vegetabilischen Substanzen auf ihren Gehalt an Pentaglycosen, resp. an den Kondensationsprodukten derselben, welche man einstweilen als *Pentosan* bezeichnet, untersucht worden*). Man hat dabei namentlich im Stroh, in den Zellwänden der Zuckerrüben und dem Holze der Laubbäume grössere Mengen von solchem Pentosan vorgefunden, während Heu ärmer an diesem Bestandteile ist, und ohne Zweifel hat dieser Fund Bedeutung für die richtige Würdigung der nährenden Eigenschaften der vegetabilischen Stoffe. Doch sind die einschlagenden Studien noch zu wenig abgeschlossen, um schon feststehende Folgerungen machen zu können; aber sicherlich ist mit jenen eine neue fruchtbare Richtung in der Agrikulturchemie eingeschlagen.

Als bestbekannte Pentose ist hier nun die *Arabinose* zu nennen und deren Formel ist nach dem Gesagten natürlich $C_5H_{10}O_5$, auf deren wenig charakteristische Eigenschaften wir hier aber nicht eingehen. Die Arabinose ist ein feststehendes Inversionsprodukt des *Arabins* oder arabischen Gummis, zu welchem es also etwa in derselben Beziehung steht wie die Dextrose zum Dextrin oder wie die Lävulose zu dem Inulin. Daraus geht hervor, dass die Formel des Arabins auch nicht, wie man früher annahm, $C_6H_{10}O_5$ oder damit polymer, sondern höchstens $C_{11}H_{20}O_{10}$ oder dergleichen sein kann.

Mit dem über Pentosen im allgemeinen Gesagten steht nun auch im Zusammenhang, dass das Arabin nicht ein pflanzenphysiologisch wichtiges Umsetzungsprodukt ist, von welchem Neubildung wieder ausgeht, sondern mehr erscheint als in Ausschwitzungsprodukten kranker Organe als sogenanntes Endprodukt des pflanzlichen Stoffwechsels.

Das arabische Gummi ist leichtlöslich in Wasser, aus dieser Lösung jedoch (unter gewöhnlichen Umständen) fällbar durch Alkohol — eine Eigenschaft, die, wie wir gesehen, auch dem Dextrin und den anderen Polysacchariden zukommt — und wird von diesem am leichtesten unterschieden durch seine Eigenschaft, die Ebene des polarisierten Lichtes nach links zu drehen. Dasselbe lässt sich seiner Konstitution entsprechend auch wie Dextrin, Stärke und Inulin durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure in Zucker (z. T. vergärbare Galactose, z. T. die oben erwähnte Arabinose) verwandeln. Dem Ansehen und einigen Eigenschaften nach ist übrigens der Körper, der ja sehr allgemein als Klebstoff benutzt wird, völlig bekannt als ein weisses Pulver, das mit wenig Wasser einen dicken Syrup bildet.

Zu erwähnen ist noch, dass dieses Arabin am entschiedensten unter den Kohlenhydraten die Rolle einer Säure spielt, im reinen Zustande schwach sauer reagiert,

*) In dieser Richtung haben sich namentlich Tollens und seine Schüler und unter diesen namentlich Chalmot verdienstlich gemacht. Vergl. American chimical Journal, 15 u. 16. Daselbst auch Litteraturangaben. Der Nachweis von Pentosan im Erdboden durch den Letztgenannten ist ein weiterer Beleg für die schwierige Zersetzbarkeit dieser Körper. Vergl. auch Warington: Agricult. students. gazette, April 1893.

sich leicht mit Alkalien und alkalischen Erden verbindet und auch in solchen Verbindungen in der Pflanze angetroffen wird.*)

Das Arabin, welches wie gesagt hauptsächlich als Ausschwitzungsprodukt mancher Pflanzen**) auftritt, ist seinen physiologischen Funktionen nach aufzufassen als ein Umwandlungsprodukt der Cellulose (der sekundären Zellmembran)***) und der Stärkekörner, vielleicht auch der Kohlenhydrate des Zellsaftes, das, wenn es in grösseren Massen auftritt, aus der Pflanze ausgeschieden wird und dann unfähig ist, wieder von dem protoplasmatischen Zellsaft aufgenommen, in Zucker verwandelt und zur Neubildung von Organen verwendet zu werden. Es gelingt noch leicht, in den verschiedenen Gummiarten, wie man sie im Handel bezieht, Zellen der Gewebeteile aufzufinden, deren Zellhäute deutlich den Übergang in arabisches Gummi erkennen lassen, so z. B. im Senegal-Gummi solche Zellen der Akazienrinde, aus welcher dieses Produkt ausfliesst und für den Handel gewonnen wird. Aber auch noch viele andere Gewächse, selbst einige unserer Heimat liefern auf die gleiche Weise Ausschwitzungen von Gummi, das je nach seinem Ursprung mit sehr verschiedenen Stoffen verunreinigt ist und mit sehr verschiedenen Namen belegt wird. Ich erwähne hier das Kirschgummi, welches wir aus unseren Kirschbäumen, Pflaumenbäumen etc. und aus den Früchten dieser Bäume ausfliessen sehen. Doch liegen noch keine genügenden chemischen Analysen vor, um alle diese verschiedenen Substanzen auch nur der Hauptmasse nach als identisch mit Arabin zu bezeichnen; ja z. T. zeigen sie Rechtsdrehung und sind daher sicherlich von abweichender Konstitution. Es hat einstweilen kein Interesse für uns, des Breiteren zu erwähnen, dass der Gummibildungsprozess z. T., namentlich wenn er grössere Dimensionen annimmt, unter dem Namen „Gummosis“ als ein pathologischer Prozess aufgefasst wird, während die Gummiausscheidung aus lebenskräftigen Zellen in die Intercellularräume als normaler Vorgang gilt und sogar durch die Auskleidung von Wunden zweckmässig sein kann†).

Hier ist auch der geeignete Ort, um einer eigentümlichen Umwandlung des Zellstoffs in eine Modifikation von ganz anderen Eigenschaften und wenig bekannter Zusammensetzung Erwähnung zu thun, der Umwandlung in das sogenannte *schleimgebende Gewebe* oder den Pflanzenschleim. Hierzu müssen auch wahrscheinlich einige sogenannte Gummisorten, Traganth und Bassorin aus Astragalus- und Cactusarten, gerechnet werden. Diese Abart des Zellstoffs ist im trocknen Zustande beinahe hornartig, quillt jedoch im Wasser zu einem ansehnlichen Volum auf, um sich schliesslich in demselben zu einer schleimartigen Masse zu verteilen. Dieselbe kommt nament-

*) Das arabische Gummi enthält nach Löwenthal und Hausmann im Durchschnitt 3,2% Asche, davon 1/4 Kali und noch etwas mehr Kalk.

**) Ein ganz ähnlicher Körper ist auch als ein Bestandteil der Zuckerrüben durch Scheibler beschrieben und studiert worden.

***) Ausführliches bei P. Sorauer: Landw. Versuchsst., B. 15, p. 454. Wichtig ist die Entdeckung Beyerinck's, dass die Gummikrankheit unserer Pflaumenbäume ansteckend ist und durch Stückchen Gummi auf Schnittwunden übertragen werden kann. Vergl. Kon. Akad. d. Wetensch. te Amsterdam, 1883, Naturk. Verh. Deel. 23.

†) Vergl. auch B. Frank: Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., 1884, Heft 7.

lich in den Oberhautzellen der Samenschalen des Leins*), aber auch des Quitten- und Kleesamens und mancher andern Pflanzensamen vor, und die Quellungsfähigkeit, die sie den Epidermiszellen dieser Samen verleiht, ist genugsam bekannt.

Fig. 10 mag eine Vorstellung von der Grösse der Quellungsfähigkeit solcher Zellschichten geben. Man vergleiche nur die gequollene Oberhaut a im Vergleich zu a' im gewöhnlichen Zustande. Die Abbildung bezieht sich auf Querschnitte von Leinsamen.

Wenn in den meisten Fällen der Pflanzenschleim als ein Umwandlungsprodukt des Zellstoffs erscheint, so sind doch auch Fälle nachgewiesen, wo derselbe aus der Verwandlung von Stärkekörnern seinen Ursprung nimmt**). Bei der nahen chemischen Verwandtschaft von Cellulose und Stärke liegt hierin nichts Wunderbares.

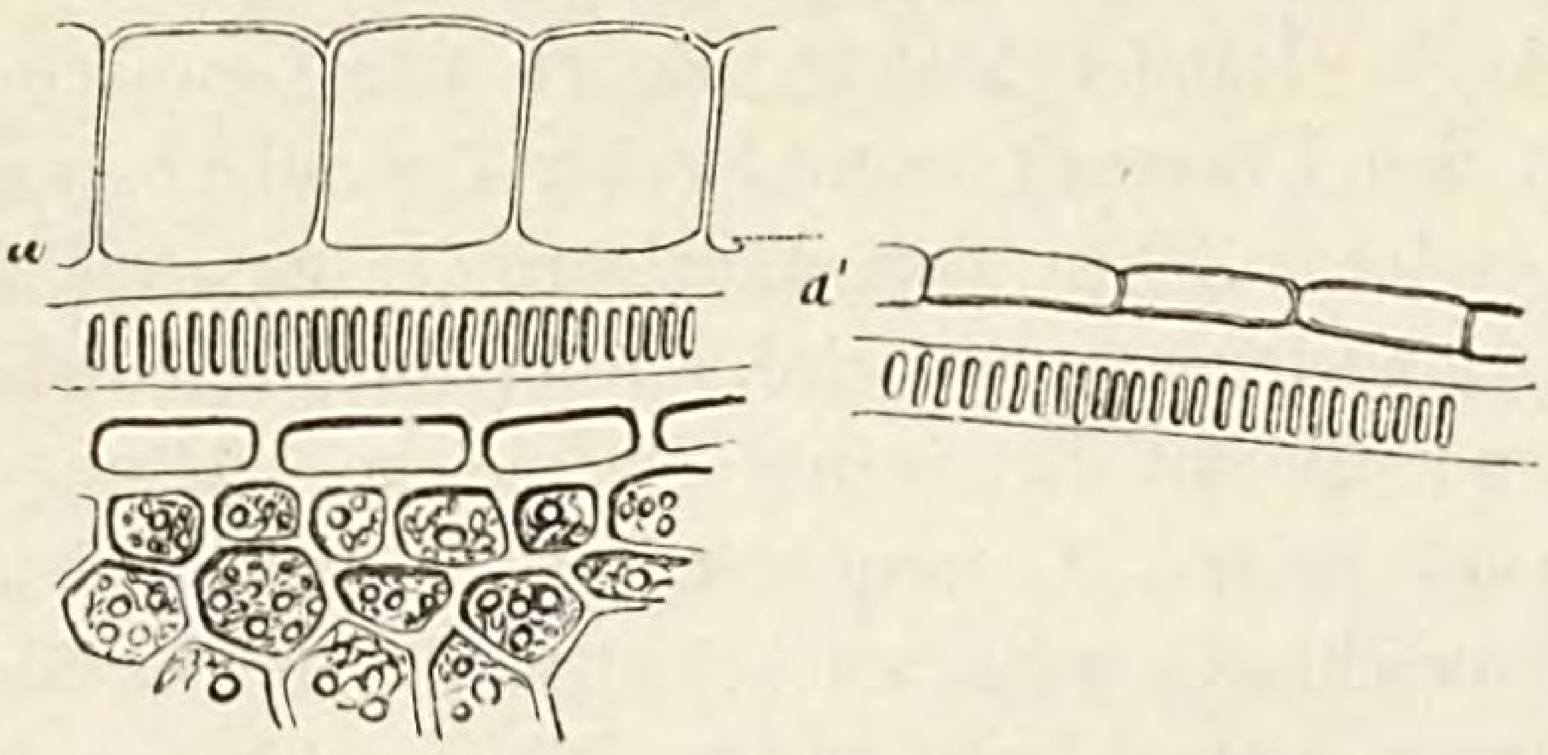


Fig. 10. — Teil eines Querschnitts durch den Leinsamen. a' die Oberhaut in trockenem, a in gequollenem Zustande. Nach J. Kühn.

Das schleimgebende Gewebe hat man als eine Art Verbindung von Cellulose mit Dextrin oder anderen Polysacchariden anzusehen. Von dem Arabin ist dieser Stoff leicht dadurch zu unterscheiden, dass derselbe noch wie die Cellulose mit Schwefelsäure und Jod Blaufärbung zeigt.

Eine Substanz, die ihrer Zusammensetzung nach nicht strenge ein Kohlenhydrat ist, demselben aber in Bezug auf Zusammensetzung und Eigenschaften sehr nahe steht, muss noch hier anhangsweise erwähnt werden. Ich meine den *Mannit*, von der Formel $C_6H_{14}O_6$, der sich also von den früher behandelten Glycosen durch ein Plus von Wasserstoff unterscheidet. Diese Substanz, welche von den Chemikern als der zu diesen aldehyd- oder ketonartigen Körpern zugehörige sechswertige Alkohol erkannt wurde (Fruchtzucker und Traubenzucker können beide durch Wasserstoffaddition in Mannit verwandelt werden), kommt nicht bloss in dem ausgeschwitzten Safte einiger Fraxinusarten (der sogenannten Manna) vor, sondern auch in der Sellerie und in einigen Pilzen und Algen und ist dieselbe daher vielleicht nicht von ganz untergeordneter physiologischer Bedeutung. Einiges Licht auf dieselbe wird in dem Abschnitte „Gärungschemie“ dieser Vorlesungen auf die Entstehungsweise dieses Körpers fallen.

Nach Abhandlung der wichtigsten Stoffe aus der Gruppe der Kohlenhydrate ist vielleicht vielen eine Übersicht über die Haupteigenschaften derselben in tabellarischer Form willkommen. (Siehe die Übersicht auf p. 133.)

Nicht sehr fernestehend den eigentlichen Kohlenhydraten, obwohl noch ohne festen Platz im System der organischen Chemie, ist dann hier der *Pektinstoffe****) zu

*) Vergl. über Pflanzenschleime Jahresber. f. Agrikulturch., 1865, p. 94, u. B. Frank: Journ. f. Landw., 1870, Jahresber. p. 184.

**) Uloth: Flora, 1875, Nr. 13.

***) Ganz neue Studien über diesen Gegenstand bei Tromp de Haas: Inauguraldissertation Göttingen 1894.

Die in den Pflanzen vorkommenden Kohlenhydrate.

		Zusammensetzung	In heissem Wasser	In kaltem Wasser	In Alkohol	Kochen mit verdünnter Säure	Besondere Reaktionen	Drehung der Polarisationsebene des Lichts	Funktion in der Pflanze
Polysaccharide	Stärkemehl	$x^n(C_6H_{10}O_5)$	Kleisterbildung	unlösl.	unlösl.	Traubenzucker	blau mit Jod	+ 197°	Assimilationsprodukt, Reservestoff
	Galactan	$m(C_6H_{10}O_5)$	unlösl.	unlösl.	unlösl.	Galactose	—	—	Reservestoff
	Cellulose	$p(C_6H_{10}O_5)$	unlösl.	unlösl.	unlösl.	unverändert	lösl. in Kupferoxyd-Ammoniak	—	Baustoff, Reservestoff
	Dextrin	$n(C_6H_{10}O_5)$	lösl.	lösl.	unlösl.	Traubenzucker	—	+ 194,8	Übergangsstoff
	Inulin	$o(C_6H_{10}O_5)$	lösl.	schwer lösl.	unlösl.	Fruchtzucker	—	— 34,4	Reservestoff
	Arabin	$q(C_5H_{10}O_5) + r(C_6H_{10}O_5)$	lösl.	lösl.	unlösl.	Galactose + Pentose	—	verschieden	Ausscheidungsprodukt
Disaccharide	Rohrzucker	$C_{12}H_{22}O_{11}$	lösl.	lösl.	lösl., doch nicht in absolut. Alk.	Traubenz. + Fruchtz.	—	+ 66,5	Reservestoff, Bildungsstoff
	Maltose	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$	lösl.	lösl.	lösl.	Traubenzucker	reduziert alk. Cu-lösung	+ 138,3	Übergangsstoff
	Milchzucker	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$	lösl.	lösl.	lösl.	Traubenzucker + Galactose	reduziert alk. Cu-lösung	+ 52,5	selten in Pflanzen
Glycosen	Traubenzucker	$C_6H_{12}O_6$	lösl.	lösl.	lösl.	unverändert	reduziert stark Cu-lösung	+ 52,5	Bildungsstoff
	Fruchtzucker	$C_6H_{12}O_6$	lösl.	lösl.	lösl.	unverändert	reduziert stark Cu-lösung	— 106	Bildungsstoff

In Bezug auf die letzte Kolumne ist zu bemerken, dass unter Assimilationsprodukt — das erste Produkt der Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle, unter Baustoff — Substanzen, aus denen Zellhäute gebildet werden können, und unter Bildungsstoff — diejenigen Substanzen verstanden werden sollen, welche im Zellsaft gelöst zu Ablagerungen, sei es von Reservestoffen, sei es von Baustoffen, dienen können.

erwähnen, welchen Substanzen man das Gallertigwerden von Frucht- und anderen Pflanzensäften zuschreibt. Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Sauerstoff ist in ihnen ungefähr dasselbe wie in den Kohlenhydraten, aber sie sind entschieden wasserstoffärmer wie diese. Formeln wie $C_{14}H_{21}O_{11}$ oder $C_{32}H_{48}O_{32}$ sind es, welche den Pektinstoffen auf Grund von Analysen beigelegt werden. Von der Ermittelung der wirklichen Molekulargrösse oder gar einer rationellen Formel kann bei der Schwierigkeit, die Substanzen rein darzustellen, keine Rede sein. Die physikalischen Eigenschaften dieser Stoffe müssen denen des Pflanzenschleims ähnlich gedacht werden und man würde sie mit diesem Stoffe in eine Reihe stellen, wenn nicht die etwas abweichende chemische Zusammensetzung ein Hindernis wäre. Chemisch sind sie neutral oder sehr schwache Säuren und können nicht durch Kochen mit Säuren und dergleichen in Zucker übergeführt werden. Der Sitz der Pektinstoffe wird in der Intercellularsubstanz gesucht.

Auch eine Art von Anhang zu den Kohlenhydraten bilden einige Stoffe, denen in der Pflanze eine ähnliche, wenn auch untergeordnetere Bedeutung zukommt wie der Cellulose, Stoffe, welche mit der letzteren die *älteren* Zellhäute zusammensetzen, diese hierdurch in mannigfaltiger Weise in ihrem Verhalten modifizierend. Die dahin gehörigen Stoffe, ziemlich allgemein unter dem Namen von kutikularisierenden und inkrustierenden Substanzen bekannt, sind zwar chemisch erst sehr unvollständig untersucht. Wir kennen eigentlich nur die Reagentien, durch die es möglich ist, sie vom Zellstoff zu trennen, und selbst ihre Zusammensetzung ist kaum bekannt. Dieselben sind wahrscheinlich aufzufassen als sekundäre Umwandlungsprodukte des Zellstoffs; denn zumal das leere Zellgewebe des älteren Holzes wird von der in Rede stehenden Erscheinung betroffen oder durch nachträgliche Einlagerung der betreffenden Stoffe.

Unter den inkrustierenden Substanzen, deren es mehrere zu geben scheint, ist *das Lignin* zu nennen, das in den verdickten Zellen des Holzes und namentlich der harten Schalen der Steinfrüchte in sehr bedeutenden Mengen vorkommt, und auch als Bestandteil der verhärteten Zellwandungen unserer Grasarten (von Heu und Stroh) erkannt worden ist. Wie zweifelhaft es auch mit der Formel dieser Substanz steht, so ist doch sicher, dass dieselbe sehr viel kohlenstoffreicher als die Cellulose ist und sich in ihrer Zusammensetzung beinahe den halbverkohlten oder humosen Substanzen nähert, so dass das Holz unserer Bäume, die Wallnussschalen etc. infolge der Inkrustation mit dieser Substanz eine wesentlich abweichende Zusammensetzung von der Cellulose zeigen.

Von der Cellulose wird das Lignin getrennt durch die Löslichkeit, die es, vorher mit Chlor behandelt, in Alkalien zeigt, und auf dieses Verhalten gründet sich auch die Reindarstellung der Cellulose bei der Analyse von Futtermitteln. Wenn man bei solchen Analysen die Maceration mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure versäumt, so erhält man eine Cellulose von 48% Kohlenstoff und mehr, während die reine Cellulose 44,4% erheischt*). Auch der Verwesung und der Verkohlung durch Schwefelsäure scheint Lignin früher zu erliegen als die reine Cellulose.

*) Vergl. über die Umwandlung der inkrustierenden Stoffe in Korksäure und Bernsteinsäure durch Salpetersäure Stutzer: Landw. Versuchsst., B. 18, p. 364.

Die inkrustierten oder verholzten Zellen unterscheiden sich nun auch, wie schon aus den angeführten Beispielen teilweise hervorgeht, äusserlich von denjenigen, deren Wandungen aus reiner Cellulose bestehen. Die Zellhaut wird durch die Einlagerung oder teilweise Verwandlung in Lignin sehr hart, weniger dehnbar und quellbar, dagegen im allgemeinen nicht schwer durchdringbar für Wasser, und ein Teil dieser Eigenschaften ist ja aus dem Verhalten der Wallnussschalen oder des älteren Holzes, den zarten, jugendlichen Geweben der Pflanzen gegenüber, leicht ersichtlich.

Neben den inkrustierenden Substanzen haben wir dann hier von den kutikularisierenden zu sprechen. Die Zellen, welche die Aussenfläche der Pflanze begrenzen, und manche Zellpartieen, die diesen nahe liegen, zeigen häufig eine Veränderung, die als Kutikularisierung oder Verkorkung der Zellhäute bezeichnet wird. Diese Veränderung besteht in einem Dehnbarer- und Elastischerwerden der Zellhaut, die alsdann schwer durchdringbar für Wasser und Gase, resistenter gegen äussere Einflüsse wird. Derartige Veränderungen erleiden z. B. die Zellwandungen der Sporen der niedrigen, der Pollenkörner der höheren Pflanzen, in ähnlicher Weise auch die zusammenhängende äussere Zellhaut ganzer kompliziert gebauter Pflanzenorgane, die sogenannte *Cuticula.* In vielen Fällen erstreckt sich jedoch die Verkorkung der Zellhaut auf viele übereinanderliegende Schichten, wie z. B. bei den verschiedenen Arten von Bäumen, die den sogenannten Kork bilden; ferner nach Verletzungen etc.

Die beschriebene Modifikation der Zellhaut, die also auch in ausgedehntester Weise vorkommt, ist der teilweisen Umwandlung oder Ersetzung des Zellstoffs durch eine chemische Substanz von noch wenig studierter Zusammensetzung zuzuschreiben, die man *Kutikularsubstanz,* auch *Suberin* genannt hat. Diese Substanz soll direkt in heissem Alkali auflöslich sein, ebenso durch verdünnte Salpetersäure leicht zerstört werden, so dass sie also bei den gewöhnlichen Methoden der Cellulosebestimmung mit entfernt werden würde. Die Reindarstellung der Korksubstanz ist dagegen auch noch nicht gelungen, wie die wechselnden Angaben über deren Zusammensetzung beweisen*). Vermutlich handelt es sich um mehrere Substanzen, von denen wenigstens die eine von wachsartiger Natur ist und somit das abweichende physikalische Verhalten damit imprägnierter Zellwände erklärt. Auch besteht Verschiedenheit in verschiedenen Geweben, da z. B. die kutikularisierten Wände der Epidermiszellen mancher oberirdischer Organe sich gegen Alkali als resistent erweisen.

Schon an dieser Stelle kann mit Vorteil die praktische Frage besprochen werden nach der gesamten Produktion an Kohlenhydraten auf die Einheit Grundfläche. Wie wir gesehen haben, gelingt es auch ausserhalb der Pflanze verhältnismässig leicht, den einen Körper dieser Stoffgruppe in einen anderen derselben Gruppe umzuwandeln, in jedem Falle aber alle, soweit sie noch nicht Glycosen sind, in solche umzusetzen, und daher ist auch der physiologische Wert derselben, soweit sie nicht Pentosen enthalten, z. B. zur Ernährung der Tierwelt ungefähr identisch.

Ausserdem ist schon aus bisher Gesagtem deutlich, dass diese Stoffgruppe in der Pflanze quantitativ über die anderen Stoffgruppen derart vorherrscht, dass eine ge-

*) Über die Bedeutung der Kutikularisierung der Zellhäute für gewisse physiologische Vorgänge vergleiche die einundzwanzigste Vorlesung. Weitere Angaben über die Cuticula siehe Journ. für Landw., 1870, Jahresber. p. 271.

wisse Produktion an Pflanzensubstanz in erster Linie eine solche ist an Kohlenhydraten, so zwar, dass diese Produktion in den meisten Fällen als das eigentliche chemische Ziel des gesamten Pflanzenbaues bezeichnet werden kann. Und auch da, wo es sich um andere Substanzen handelt, wie z. B. bei dem Anbau sogenannter Ölfrüchte, um die Erzeugung fetter Substanzen, da kann häufig, wie wir bald noch deutlicher sehen werden, die Erzeugung derselben als Erzeugung organischer Substanz in stark konzentrierter Form betrachtet werden, wobei die fetten Körper als Stoffe von etwa dem 2½fachen Verbrennungswert aber im übrigen unter dem gleichen Gesichtspunkte als die Kohlenhydrate aufgefasst werden können.

Aus dem allen zusammen folgt nun, dass als Ziel einer rationellen Pflanzenproduktion nicht, wie man bis dahin ziemlich ausschliesslich that, gesetzt werden muss die vorteilhafteste Erzeugung eines bestimmten Gewächses, sondern die Erzeugung einer bestimmten Substanz, gewöhnlich Kohlenhydrat, wozu die Wahl dieses oder jenes Gewächses nur das unter den herrschenden Umständen geeignetste Mittel ist. Mit andern Worten: die Auswahl der Pflanze selber darf nicht als etwas ausschliesslich durch praktische Erwägungen über Preis, zweckmässige Fruchtfolge und dergleichen schon Gegebenes von der Theorie als Ausgangspunkt ihrer Aufgabe in Empfang genommen werden, sondern diese muss sich mehr und mehr an der Wahl der Pflanze beteiligen, da die Wahl häufig nur ein jenem allgemeineren untergeordneter Gesichtspunkt ist. Dieser Grundsatz gilt natürlich in erster Linie für den Bau von Futtergewächsen, während bei anderen Produktionen spezifische Geschmackseigenschaften und andere Umstände den Gegenstand häufig in ein anderes Licht rücken. Aber auch in solchen Fällen ist es häufig nützlich, denselben nicht völlig zu vernachlässigen, wie sich beispielsweise bei einem Vergleiche des Zuckerrübenbaus mit dem Kartoffelbau zum Zwecke der Dextrosefabrikation zeigt, da damit immer einer der wichtigsten mitzuberücksichtigenden Momente gegeben ist.

Aus dieser Erörterung folgt sodann, dass es eine der Hauptaufgaben der Agrikulturchemie ist, das Maximum auf die Einheit der Grundfläche zu erzeugender organischer Substanz festzustellen und zu sehen, mit welchen Mitteln unter den verschiedenen Umständen dies Maximum zu erreichen ist, ferner ob das zur Zeit bestehende Maximum begrenzt wird durch die Menge des für die Produktion zur Verfügung stehenden Sonnenlichtes oder durch die Kohlensäure der Luft u. s. w., von welcher Erkenntnis der weitere Fortschritt im Pflanzenbau wesentlich abhängig sein wird.

Als Maximum von produzierter organischer Substanz auf die Hektare kann unter den Verhältnissen der grossen Landwirtschaft zur Zeit etwa 10 000 kg jährlich bezeichnet werden, gleichgiltig, ob wir nun dieses oder jenes Gewächs als Mittel zum Zweck gebrauchen.

Wenn wir es nun unternehmen, einen Blick über die fast unzählbaren anderen ternären organischen Verbindungen, die in der Pflanze vorkommen, zu werfen, so wird dies geschehen mit aller thunlichen und in diesem Falle angemessenen Kürze, ohne irgendwie näher das Gebiet der organischen Chemie zu betreten. Einer etwas ausführlicheren Behandlung haben wir die Kohlenhydrate deshalb gewürdigt, weil sie unter jenen zahllosen in der lebenden Pflanze auftretenden organischen Verbindungen eine hervorragende Rolle in der Pflanze spielen, eine Rolle wenigstens, deren Sinn

zu verstehen uns einigermaassen möglich ist. Den nun zu behandelnden Stoffen kommt mit Ausnahme der Fette, die wir darum in erste Linie stellen, keine derartige klarerkannte Funktion zu; wir sind geneigt, sie zum grössten Teile als für die Existenz der Pflanzen bedeutungslos zu bezeichnen, — *mit welchem* Rechte, wird erst später möglich sein zu beurteilen.

Die Stoffe, die wir zur Gruppe der *Fette* rechnen, sind samt und sonders, im Verhältnis zu ihrem Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff, sauerstoffärmer als die Verbindungen, mit denen wir uns bisher beschäftigt haben. Wir konnten schon früher die Fette ganz im allgemeinen, ohne näher auf ihre Zusammensetzung einzugehen, als nach der Formel $C_xH_{2y}O_{y-z}$ zusammengesetzt bezeichnen, wo x, y, z noch ganz unbestimmte, aber positive Werte haben sollten.

Man darf sich nicht dadurch irre machen lassen, dass in der neueren Chemie unter „Fettsäuren" oder „der Fettsäure-Reihe angehörig" Substanzen bezeichnet werden, die zum Teil die Zusammensetzung eines Kohlenhydrats, wie die Essigsäure = $C_2H_4O_2$ haben, oder selbst noch sauerstoffreicher als Kohlenhydrate, wie die Ameisensäure = CH_2O_2, sind. Diese Substanzen sind nur die niedrigsten Glieder einer homologen Reihe, deren höhere Glieder die Zusammensetzung der Fette in unserem Sinne zeigen, und die nur diesen, den eigentlichen Fettsäuren zu Liebe, mit denen sie *Konstitutionsähnlichkeiten* besitzen, Fettsäuren genannt worden sind.

Es ist dies ein Sprachgebrauch, der in der *reinen Chemie*, ebenso wie die früher besprochene chemische Definition des Wortes „organisch", verteidigt werden kann und mag; wir, die wir bis jetzt wenig mit der Konstitution der Körper als solcher zu thun haben, müssen bei dem alten Sinne des Wortes „Fett" stehen bleiben, und der schliesst (neben manchem anderen) die relative *Sauerstoffarmut* ein. Ich führe dies an, weil die entsprechenden Verwechslungen bereits sich geltend gemacht und einiges Unheil*) angestiftet haben. Es giebt Glieder der Fettsäurereihe, die niemals zu den Fetten im physiologischen Sinne gerechnet werden dürfen, und, wie wir bald sehen werden, wieder Körper, die keine dieser Fettsäuren in sich enthalten, doch aber eigentliche Fette sind.

Neben der relativ grossen Sauerstoffarmut ist für die Fette eine Reihe von leicht festzustellenden Eigenschaften charakteristisch, die es bewirken, dass auch der Nichtchemiker einen fast in allen Fällen zutreffenden Begriff von einem Fette hat. Diese Stoffe sind alle entweder flüssig und heissen in diesem Falle fette Öle, oder sie sind leicht schmelzbar (unter dem Kochpunkt des Wassers), ferner alle spezifisch leichter wie Wasser und vollkommen unlöslich in demselben. Sie sind alle in Äther, auch in Alkohol etwas löslich, nicht unzersetzt flüchtig und riechen bei der Zersetzung durch Hitze eigentümlich und unangenehm und sind schliesslich mit leuchtender Flamme brennbar, wenn man sie bis zur Entwickelung von Gasen erhitzt.

*) So glaubte man häufig, wenn man von den physiologisch interessanten genetischen Beziehungen der Kohlenhydrate zu den Fetten handelte, eine derartige Beziehung schon gefunden zu haben, wenn nur der mögliche Übergang eines Kohlenhydrates in ein niedriges Glied der Fettsäurereihe behauptet wurde, was ohne Reduktionsprozess geschehen kann, während zum Übergang in wirkliche Fette die Annahme tiefer eingreifender Reduktionsvorgänge unerlässlich ist.

Die Fette sind (wenn wir die denselben verwandten Wachse und einige andere Verbindungen vorerst bei Seite liegen lassen) überwiegend salzartige Verbindungen (in der organischen Chemie auch Ester oder gemischte Äther genannt) einiger wenigen Säuren der Fettsäurereihe und einiger Säuren anderer (etwas wasserstoffärmerer) Reihen mit der Basis Glycerin und werden deshalb auch als *Glyceride* bezeichnet; z. T. sind sie auch fette Säuren selbst im freien Zustand (in Palmöl, Kokosnussfett).

Das Glycerin oder Ölsüss spielt also in den Verbindungen, die wir Fette nennen, die Rolle einer Basis und zwar einer dreiatomigen Basis, in der (wie man in der Sprache der Chemie sich ausdrückt) ein, zwei und drei Hydroxylgruppen durch die Reste der genannten Säuren ersetzt werden können. Es entstehen so *Mono-, Di-* und *Triglyceride*, die auch nach dem Namen der eintretenden Säuren *Mono-, Di-* oder *Tri-Stearin*, *Mono-, Di-* oder *Tri-Oleïn* genannt werden. Je nach dem Charakter und selbst den physikalischen Eigenschaften der eintretenden Fettsäure sind dann die so entstehenden Verbindungen flüssig und heissen dann fette Öle, oder fest und heissen dann schlechtweg Fette.

Alle diese Glyceride lassen sich nun durch die Einwirkung stärkerer Basen, als das Glycerin ist, zersetzen, und es resultiert dann eine Verbindung jener Säuren mit der stärkeren Basis und freies Glycerin, das in Wasser löslich ist. Als solche stärkere Basen können dienen: unsere fixen Alkalien, Kali oder Natron, oder auch die alkalischen Erden, und in diesen Fällen heisst der erwähnte Prozess — ein Verseifungsprozess, der neuentstehende Körper, der aus fixem Alkali und der fettbildenden Säure besteht, — eine *Seife*. Die Seifen des gewöhnlichen Lebens sind solche Verbindungen.

Das Glycerin zeigt eine Zusammensetzung, die in der Chemie durch die Formel $C_3H_8O_3$ ausgedrückt wird, ist also schon an sich eine sauerstoffärmere Substanz als ein Kohlenhydrat und eine Konstitution, welche durch die folgende Gruppierung der Zeichen ausgedrückt wird:

$$\begin{array}{c} H_2COH \\ | \\ HCOH \\ | \\ H_2COH, \end{array}$$

also eine Konstitution als dreiwertiger Alkohol. Weit weniger Sauerstoff enthalten indessen die Säuren, die sich an der Fettbildung beteiligen. Als solche sind für uns von hervorragender Bedeutung:

Die Capronsäure	von	der	Formel	$C_6H_{12}O_2$,
die Caprinsäure	„	„	„	$C_{10}H_{20}O_2$,
die Laurinsäure	„	„	„	$C_{12}H_{24}O_2$,
die Myristinsäure	„	„	„	$C_{14}H_{28}O_2$,
die Palmitinsäure	„	„	„	$C_{16}H_{32}O_2$,
die Stearinsäure	„	„	„	$C_{18}H_{36}O_2$,
die Arachinsäure	„	„	„	$C_{20}H_{40}O_2$,
und die Cerotinsäure*)	„	„	„	$C_{26}H_{52}O_2$,

*) Die früher gebrauchte Formel mit C_{27} ist die unwahrscheinlichere.

aus der Fettsäurereihe und aus einer andern wasserstoffärmern Reihe:

die Hypogäasäure von der Formel $C_{16}H_{30}O_2$,
die Ölsäure " " " $C_{18}H_{34}O_2$,
die Brassicasäure " " " $C_{22}H_{42}O_3$,

und endlich eine Säure, die zur Zeit noch keine in der Natur vorkommenden Homologen besitzt,

die Ricinölsäure von der Formel $C_{18}H_{34}O_3$.

Diese Säuren, deren grosse Sauerstoffarmut den Kohlenhydraten gegenüber klar ersichtlich ist, haben als solche fast vollständig noch die Eigenschaften der Fette selbst und dieselben sind mehr als das Glycerin als die Träger dieser Eigenschaften aufzufassen. Ich erinnere an die Stearinsäure, deren Verhalten ja jedermann von den Stearinlichtern her, deren Masse wesentlich aus dieser Säure besteht, bekannt ist. Ja es hat sich, wie schon gesagt, in neuerer Zeit in mehreren Fällen herausgestellt, dass auch freie Säuren als solche zuweilen natürliche Pflanzenfette konstituieren*).

Aus den Glyceriden dieser wenigen Säuren — andere Glyceride kommen jedenfalls nur in ganz untergeordneten Mengen vor — nun sind die Fette, die in der Pflanze vorkommen, alle zusammengesetzt, und zwar scheinen dieselben alle Triglyceride zu sein von der Zusammensetzung:

$3\,(C_{18}H_{35}O_2)$	$3\,(C_{18}H_{33}O_2)$	$3\,(C_{16}H_{31}O_2)$
C_3H_5	C_3H_5	C_3H_5
Tristearin.	Trioleïn.	Tripalmitin.

Man erkennt aus dieser Formel, wie sehr die Säurereste quantitativ in den Fetten vorherrschen, so dass es natürlich erscheint, dass sie denselben auch die äusserlichen Eigenschaften aufprägen.

Nun darf man sich aber nicht denken, als seien diese einzelnen Glyceride für sich getrennt in den Pflanzen enthalten. Dies ist durchaus nicht der Fall. Überall, wo wir einem Fette oder fetten Öle in der Pflanze begegnen, da haben wir es auch mit einem mehr oder minder komplizierten Gemische von jenen verschiedenen Glyceriden zu thun; da gelingt es, durch chemische Operationen mehrere der genannten Säuren aus den Fetten abzuscheiden.

So enthält z. B. die sogenannte Muskatbutter, ein Fett, das aus den Nüssen von Myristica moschata gewonnen wird, vorzugsweise Myristinsäure- und Ölsäure-Glycerid, das Lorbeeröl (aus den Früchten von Laurus nobilis) Laurinsäure- und Ölsäure-Glycerid und das Palmöl neben freier Säure vorherrschend Palmitinsäure- und Ölsäure-Glycerid. Erdnussöl aus Arachis hypogaea enthält natürlich die beiden Säuren, welche durch die beiden botanischen Namen hinreichend angedeutet werden.

In dieser Weise sind alle Fette, die man in den Pflanzen findet, aus mehreren Glyceriden gebildet, und je nachdem mehr von dem einen oder dem andern in einem solchen rohen Pflanzenfett vorhanden ist, nimmt dasselbe eine feste oder mehr flüssige Gestalt an, wobei bemerkt werden muss, dass die Fette einander zu lösen fähig sind

*) Ritthausen: Die Eiweisskörper etc., 1872, p. 99; König: Landw. Versuchsstation, B. 17, p. 1.

und dass die Gemische dabei einen intermediären Schmelz- resp. Erstarrungspunkt *) anzunehmen vermögen. Die Bezeichnung als Öl, die sonst den flüssigen Aggregatzustand andeutet, kann uns hierbei irreleiten, da mehrere wie das Palmöl ihre Taufe unter den Tropen empfangen haben, um nur erstarrt in unsere Hände zu gelangen. Vorherrschend scheint beinahe immer das Trioleïn in den Pflanzenfetten vorzukommen; dasselbe ist bei gewöhnlicher Temperatur flüssig, während die beiden andern am häufigsten vorkommenden Fette, das Tripalmitin und das Tristearin, im reinen Zustande bei gewöhnlicher Temperatur fest sind**).

Was das Vorkommen der Fette in den einzelnen Organen der Pflanzen betrifft, so haben wir schon bei früherer Gelegenheit einige Andeutungen gegeben. Es lässt sich sagen, dass die Fette eine der des Stärkemehls und Inulins ganz analoge Rolle im Pflanzenleibe spielen; sie dienen wie diese Kohlenhydrate fast ausschliesslich als Reservestoffe. Nur in seltenen Fällen (bei den Cacteen und einigen andern) findet sich Fett unter so unzweideutigen Umständen in der chlorophyllhaltigen Zelle vor, dass man beinahe geneigt ist, es als direktes Assimilationsprodukt anzusprechen, gegen welche Auffassung sich allerdings noch die Gleichheit der Volumina bei dem Assimilationsprozess auch in diesen Fällen anführen lässt; und obgleich man fettartigen Substanzen vielleicht auch die beschränkte Befähigung, als wandernder Nährstoff aufzutreten, zugestehen muss, so ist doch seine Rolle als Reservestoff bis jetzt die einzige von Belang.

Wir können nun den Fettkörpern die Anerkennung nicht versagen, dass sie zu Reservestoffen ganz besonders geeigenschaftet erscheinen. Dieselben sind gleichsam

*) Auf dieser Eigentümlichkeit, die auch den Säuren der Fette zukommt, beruht es ja bekanntlich, dass man lange Zeit ein Gemisch der Stearin- und Palmitinsäure als ein chemisches Individuum „die Margarinsäure“ auffasste und beschrieb (daher noch der Name „Margarin“, eigentlich „Oleomargarin“, für den aus tierischem Fette gewonnenen Hauptbestandteil der Kunstbutter), während die wirkliche Margarinsäure erst später auf synthetischem Wege dargestellt wurde.

**) Vielleicht ist an dieser Stelle die beste Gelegenheit, darauf aufmerksam zu machen, wie sehr Verbindungen mit 6 Kohlenstoffatomen oder einem Multiplum davon aneinandergereiht in der Physiologie eine Rolle spielen, wie schon bei den eigentlichen funktionierenden Kohlenhydraten gegenüber den physiologisch untergeordneten Pentosen und deren Derivaten diese Zahl charakteristisch ist. So fällt bei den Fetten das Vorherrschen der Stearin- und Ölsäure mit 18 C. auf und auch der basische Bestandteil der Fette hat wenigstens $^{6}/_{2}$ C. Diese Thatsache hat vielleicht eine theoretische Beziehung zu der Konstitution der später zu besprechenden (physiologisch wichtigsten) Eiweissstoffe, deren Molekül ja Baustoffe aus der aromatischen Reihe enthält, und für die Struktur dieses ist bekanntlich das Benzol mit seinen 6 C. der Schlüssel. Ein organischer Körper ist vermutlich physiologisch um so wichtiger, je mehr seine eigene Konstitution Gelegenheit giebt, an dem Aufbau des Eiweissmoleküls Anteil zu nehmen, und das Entstehen des aromatischen Baustoffs desselben macht hierbei die anscheinend grösste Schwierigkeit. Da ist es nun von einiger Bedeutung, im Auge zu behalten, dass das Schlänglein von Kohlenstoffatomen, das sich am leichtesten in den Schwanz beisst und so zu der Entstehung ganz besonders gearteter Verbindungen, die aber für das Zustandekommen von Eiweiss schlechterdings unentbehrlich sind, führt, 6 Glieder zählt und dass diese Zahl auch unter den einfacher konstituierten, physiologisch wichtigen Stoffen stark vertreten ist. Über die Synthese und den Abbau der einfachsten aromatischen Stoffe vergl. auch Wolffenstein: Ber. d. d. chem. Gesellsch., 1893, p. 2991.

konzentrierte organische Substanz, denn aus 884 Gewichtsteilen Trioleïn z. B. könnten, wenn dies chemisch möglich wäre, durch Oxydation 1710 Gewichtsteile Traubenzucker entstehen, also beinahe das Doppelte; nach der Gleichung [$C_{57}H_{104}O_6 + 5H_2O + 46O = C_{57}H_{114}O_{57}$], in der auf rationelle Formeln natürlich Verzicht geleistet ist. Dass derartige Übergänge mit Überschreitung von unbekannten Zwischenstufen in der Pflanze wirklich statthaben, ist früher gezeigt worden.

Als anderes Vorkommen in ausgedehnterem Maasse, neben ihrem Auftreten in den Reservestoffbehältern, ist für die Fette etwa noch zu verzeichnen das Vorkommen in dem Fleisch einiger Früchte. So wird z. B. das Olivenöl, das Palmöl (aus Eläis guineensis)*) u. a. nicht aus dem Samen, sondern aus dem diesen umschliessenden Fruchtfleisch und den grünen Samenschalen der betreffenden Pflanzen gewonnen**).

Noch auf eine andere Gesetzmässigkeit in der Verteilung der Fette im Pflanzen-Organismus, deren Sinn wir allerdings zur Zeit noch nicht zu deuten verstehen, möchte ich hinweisen, nämlich, dass diese Stoffe nicht (oder nur ganz in untergeordneten Mengen) in *denjenigen Reservestoffbehältern*, deren Inhalt für die wieder erwachende Vegetation eines mehrjährigen Gewächses bestimmt ist, zu finden sind, sondern beinahe ausschliesslich in jenen andern, welche die Nahrung für ein ganz neu sich entwickelndes Pflanzenindividuum bergen. Das heisst mit anderen Worten, wir finden die Fette mehr in den Geweben des Samens, die allerdings in einem Minimum von Raum ein Maximum von Nahrung aufzuspeichern haben, und kaum in den Knollen, Wurzeln und dem Holze, wo die Reservestoffe für die neu sich entfaltenden Knospen in Form von Kohlenhydraten aufgespeichert sind.

An diese Bemerkung mag sich gleich die andere anschliessen, dass in den Samen und den Früchten der Gewächse der heisseren Klimate die fettigen Substanzen ein grösseres Übergewicht erlangen als in denen der kalten und gemässigten Zone — eine Erscheinung, die voraussichtlich mit der grösseren Intensität des Reduktionsprozesses bei grösserem Reichtum an Wärme und Licht in Beziehung steht. Ja selbst, wenn ein und dasselbe Gewächs in den Tropen und in den gemässigten Zonen gedeiht, dann ist das Produkt, wie es scheint, in ersterem Falle fettreicher. Dies ist z. B. bei dem Leinsamen Indiens gegenüber dem Russlands auffallend und nicht ohne praktische Bedeutung für die Fabrikation von Öl und Ölkuchen aus dem einen oder dem anderen Rohmaterial.

In einigen unserer gewöhnlichsten Kulturgewächse sind im Durchschnitt etwa folgende Mengen von Fett aufgefunden worden:

Gras u. Klee (grün)	0,7 %	Weizenkörner	1,6 %
Kohl	0,4 „	Haferkörner	6,0 „
Weizenstroh	1,5 „	Maiskörner	7,0 „
Haferstroh	2,0 „	Erbsen	3,0 „
Weizenkleie	1,5 „	Baumwollensamen	34,0 „
Kartoffel	0,3 „	Leinsamen	34,0 „
Turnips	0,1 „	Rapssamen	45,0 „ .

*) Nicht zu verwechseln mit dem Palmkernöl, welches aus dem Samen bereitet wird.

**) Als Spezialwerk über die Fette kann R. Benedikt: Analyse der Fette 1892 empfohlen werden.

Ganz nahe an die Fette schliessen sich in chemischer Beziehung die *Wachsarten* an. Diese sind wie jene ausserordentlich sauerstoffarme Verbindungen und haben auch Eigenschaften, die sie jenen sehr nahe stellen; sie sind jedoch nicht Glycerinverbindungen, sondern Verbindungen derselben Säuren, die auch in die Zusammensetzung der Fette eingehen, mit weit sauerstoffärmeren basischen Stoffen, dem einwertigen Cetylalkohol $C_{16}H_{34}O$ und dem ihm homologen Myricylalkohol $C_{30}H_{62}O$.

Diese Wachse sind im Pflanzenreich sehr weit verbreitet, kommen aber meistens nur in zurücktretender Menge vor. Einige Gewächse, die Wachspalme (Ceroxylon andicola), produzieren grössere Mengen dieser Stoffe*). Die Cuticula der Pflanzen enthält kleine Mengen von Wachs, manchmal selbst soviel, dass sich eine reifartige Abscheidung nach aussen bildet, ebenso das Chlorophyllkorn**), und wenn man grüne Pflanzenteile zur Gewinnung des Chlorophyllfarbstoffs mit Äther behandelt, dann erhält man auch stets nicht unbedeutende Mengen von Wachs in einem solchen Auszug.

Überhaupt ist ein solcher Auszug, welcher in der Fütterungschemie schlechtweg als Fett bezeichnet zu werden pflegt, noch durch andere Nicht-Glyceride verunreinigt und es ist z. B. nachgewiesen, dass auch ein dem Cholesterin verwandter Körper, das Phytosterin, von der Zusammensetzung $C_{26}H_{44}O + H_2O$, in diesem Ätherextrakt eine häufig gar nicht unbedeutende Rolle spielt***). Jener Extrakt wird daher besser als Rohfett bezeichnet und von dem Reinfette oder wirklichen Glyceriden auseinandergehalten. Wenn auch Rohfett und Reinfett in den sogenannten Kraftfuttermitteln nicht viel differieren und man bei diesen häufig das eine für das andere nehmen kann, so ist dies bei Rauhfutterstoffen doch ganz anders und kann bei diesen häufig nur die Hälfte des Ätherextrakts oder noch weniger als wirkliches Fett angenommen werden. Jene bestehen wesentlich aus Samen oder Produkten von solchen, diese aus Blatt-, Wurzel- und Stengelteilen, woraus erhellt, dass in den Reservestoffbehältern das Fett in ziemlich reinem Zustande abgeschieden wird. Auch in der obigen Tabelle ist das Fett der ersten Kolumne nur zu einem Bruchteil als reines Fett anzunehmen und dies zu wissen ist von um so grösserer praktischer Bedeutung, als die Wachse und viele andere der verunreinigenden Stoffe keinen erheblichen Nährwert zu besitzen scheinen.

In Übereinstimmung mit dieser letzteren Bemerkung kommen die Wachse, so viel bekannt, nicht als Reservestoffe vor und scheinen also nicht die Fähigkeit zu haben, von dem protoplasmatischen Pflanzensafte wieder resorbiert zu werden, und denselben wird vorläufig nur eine mehr biologische Bedeutung — durch Veränderung der Permeabilität der wachshaltigen Oberhaut, infolgedessen die so geschützten Pflanzenorgane nicht der Auswaschung durch Regen unterliegen — zugeschrieben.

*) Vergl. Boussingault: Die Landwirtschaft etc., deutsch, 1844, I, p. 237—238. Mehrfach sind indessen schon feste Fette mit den eigentlichen Wachsen verwechselt worden.

**) Ber. d. deutsch.-chem. Gesellsch., 1892, R. 286.

***) Auch Lecithin ist im Fett häufig enthalten. Vergl. E. Schulze: Landw. Jahrb., 1892, p. 79.

Zehnte Vorlesung.

Die stickstofffreien organischen Bestandteile der Pflanzen (Schluss). — Die übrigen Bestandteile.

Wir haben heute, nachdem wir in den beiden vorigen Vorlesungen die beiden wichtigen Stoffgruppen Kohlenhydrate und Fette vorgeführt haben, kurz noch etwa folgende Gruppen abzuhandeln: *Die Harze-* und *Kautschukkörper,* die eine grosse technische Bedeutung haben; die *ätherischen Öle,* die *Farbstoffe* (soweit sie stickstofffrei sind), die *Glycoside,* die *Gerbstoffe* und die *Pflanzensäuren* — kurz eine ganze Reihe von verschiedenen und zum Teil chemisch interessanten Stoffen, von denen die Physiologie indessen einstweilen wenig auszusagen weiss.

Die *Harze* haben eine Zusammensetzung, die den Fetten nahekommt; sie sind ebenso sauerstoffarm, aber noch etwas wasserstoffärmer als jene. Viele aus denselben dargestellten chemisch reinen Substanzen, sogenannte Harzsäuren, haben die Formel $C_{20}H_{30}O_2$ und andere Formeln, die sehr ähnliche relative Verhältnisse ausdrücken. Dieselben entstehen teilweise ausserhalb der Pflanze durch Oxydation der ätherischen Öle, zu welcher sie überhaupt in wechselseitiger genetischer Beziehung stehen; mit diesen gemischt heissen sie *Balsame.*

Die Harze sind niemals als Baustoffe der Pflanze, sondern wohl samt und sonders als Exkrete derselben oder, wie man sich jetzt gewöhnlich ausdrückt, Produkte der regressiven Stoffmetamorphose aufzufassen. Dieselben sammeln sich in grösseren, zu sogenannten Harzgängen oder ähnlichen Bildungen erweiterten Intercellularräumen der äusseren Gewebeteile in grossen Mengen an und quellen auch häufig wie die Gummiarten aus der Pflanze aus, oft sogar gleichzeitig und gemengt mit diesen, in welcher Mischung man sie als *Gummiharze* bezeichnet. Dieselben sind aber nicht wie jene metamorphosierte Gebilde der Zellhaut und durch Resorption von Gewebeteilen entstanden; sie werden vielmehr (und ebenso die gleich zu erwähnenden ätherischen Öle) wie die Fette aus dem noch lebhaft vegetierenden Gewebe abgeschieden. Mit dieser Anschauung steht natürlich im innigsten Zusammenhange die Meinung, dass nicht die Cellulose als direktes Rohmaterial für die Entstehung von Harzen anzusehen sei. Auch die anderen Kohlenhydrate scheinen in dieser Richtung nicht in Betracht zu kommen, wohl aber in manchen Fällen Gerbstoffe und Glycoside*).

Weitere und vollkommenere Aufschlüsse versprechen die mehr und mehr der Natur nacheifernden Synthesen der organischen Chemiker, wodurch auch das Gebiet der Harze mehr und mehr berührt werden wird. Ihre Konstitution erscheint hiernach vielfach den Fetten und Wachsen ähnlich, d. h. als Ester eigentümlicher aromatischer Säuren und Alkohole.

*) Vergl. Franchimont: Bijdrage tot de kennis van het ontstaan der zoogenaamde terpeenharsen in de planten, Leiden, 1871; und Tschirch: Pringsheim. Jahrb., 25, p. 370.

Die eigentliche Bedeutung der Harze für den Haushalt der Pflanzen scheint wie die der meisten in der heutigen Vorlesung zu behandelnden Stoffe mehr von biologischer als von physiologischer Art zu sein, sie scheinen nämlich, wie schon die technische Verwendung dieser Körper zu „Baumwachs", Pech und Firniss andeutet, besonders geeignet, lebendes und totes Holz vor den zersetzenden Einflüssen der Atmosphärilien und Fäulnisorganismen zu bewahren. Wenn durch zufällige Beschädigungen, wie sie ja auch in der Natur, z. B. durch das Wild und den Sturm, vielfältig vorkommen, ein harzführendes Gewebe blossgelegt wird, so ergiesst sich aus den Kanälen und anderen Sekretionsbehältern eine gewöhnlich aus Harz und ätherischem Öle gemengte Flüssigkeit, die aber bald durch Oxydation des letzteren flüssigen Bestandteils erstarrt und so, ähnlich wie der für dieses Gemisch übliche Namen es andeutet, einen das verletzte Gewebe nach aussen wieder abschliessenden Wundbalsam abgiebt und das fehlende Epithel vorläufig ersetzt.

Eine besondere Bedeutung hat diese Beziehung noch ganz neuerdings bekommen durch den Hinweis*), wie nötig die vollständige Isolierung der Bahnen der Saftströmung, die, wie wir später sehen werden, im jungen Holze gelegen sind, vom Drucke der Luft jederzeit ist, und dass dieselbe sonst durch zufällige Verletzungen leicht illusorisch gemacht werden könnte, während nun nebst anderen Vorkehrungen der Harzerguss für luftdichten Abschluss des verletzten Leitungsgewebes dient.

Der *Kautschuk* und die *Gutta-Percha* sind Substanzen, die ihrer empirischen Zusammensetzung nach den Harzen sehr nahe stehen und für welche die zuletzt gemachten Bemerkungen in gleicher Weise gelten dürften. Sie mögen daher sogleich hier eine Stelle finden. Die genannten sind jedoch *völlig* sauerstofffrei; man giebt ihnen die vorläufige Formel C_4H_7 und $C_{10}H_{16}$. Reindarstellung derselben scheint vorläufig unmöglich. Diese Substanzen finden sich in den sogenannten *Milchsaftgefässen*, namentlich von Euphorbiaceen und Urticaceen, z. B. der Kautschuk in der als modische Zierpflanze genugsam bekannten Ficus elastica, dann namentlich in einigen Siphoniaarten, die Gutta-Percha in Ysonandra Gutta, aus der Familie der Sapotaceen. Auch sie werden, was ihre Funktionen angeht, als eine Art von natürlichem Baumwachs angesehen, das dazu berufen ist, zufällig entstandene Wunden mit einer durch Erstarrung sich bildenden Haut zu überziehen. — Über die Bildungsweise der beiden Körper ist nichts bekannt.

Die *ätherischen Öle* sind es, welche grossenteils die eigentümlichen Gerüche**) der Pflanzen bedingen. Dieselben sind schon in sehr geringen, häufig unwägbaren Mengen im stande, den Pflanzenteilen, in denen sie enthalten sind, intensive und charakteristische Gerüche zu erteilen. Diese Öle sind entweder ganz sauerstofffrei, also *reine Kohlenwasserstoffe*, oder doch sehr sauerstoffarm; sie sind meistens flüssig, zum Teil auch fest und werden dann gewöhnlich Kampher genannt. Sie sind samt und sonders flüchtig, was schon aus der Eigenschaft, einen Geruch zu verbreiten, hervorgeht und können durch fraktionierte Destillation gereinigt werden. Die

*) Vergl. Strassburger: Bau und Verrichtungen etc., 1891, p. 773.

**) Mit den Bildungsbedingungen der Geruchstoffe beschäftigte sich Regel: Botan. Centralbl. v. Uhlworm, 1891, p. 343.

Flüchtigkeit ist besonders gross mit Wasserdämpfen aus dem Grunde, welcher für alle nicht in jedem Verhältnisse miteinander mengbaren Flüssigkeiten gilt, nämlich weil die Dampfspannung der einen sich zu der der anderen hinzuaddiert und so leichter den Druck der Atmosphäre besiegt und unter diesen Umständen schon etwas unter dem Kochpunkt der leichter siedenden Flüssigkeit (des Wassers) destilliert werden kann. Aus derselben Ursache erzeugen diese Öle auch, auf Papier gebracht, zum Unterschied von den fetten Ölen einen bald wieder verschwindenden Fettfleck.

Die sauerstofffreien ätherischen Öle haben meistens wie das *Terpentinöl*, *Petersilienöl*, *Citronenöl* die Formel $C_{10}H_{16}$ und heissen dann Terpene, oder die Zusammensetzung $C_n H_{2n}$, wie der krystallisierbare Teil des Rosenöls. Die Möglichkeit von vielen Isomerieen bei so zusammengesetzten Körpern ist leicht ersichtlich durch die Konstruktion eines Kerns von 6 C-Atomen mit 2 doppelten Bindungen und mit angelagerten Methyl-, Äthyl-, Propylgruppen. Doch ist die wirkliche Konstitution noch ungewiss, da die Synthese schwierig.

Die sauerstoffhaltigen ätherischen Öle haben ziemlich verschiedene Zusammensetzung und Konstitution, aber auch bei ihnen kommen Isomerieen vor. Der gewöhnliche Kampher und das Wermutöl haben die Formel $C_{10}H_{16}O$; andere sind etwas wasserstoffreicher, manche viel wasserstoffärmer. Spiräaöl ist Salicylaldehyd und viele andere sind endgültig dem modernen System der organischen Chemie einverleibt, z. B. wie das Cumarin*), der ätherische Bestandteil des Waldmeisters und des Ruchgrases von der Formel $C_9H_6O_2$**).

Die Bildung der in diese Gruppe gehörigen Stoffe kann in sehr verschiedenen Pflanzen und Pflanzenteilen vor sich gehen; doch sind die unterirdischen Teile gewöhnlich frei von ihnen. Die meisten Pflanzen, die sich durch die Bildung solcher Stoffe auszeichnen, kommen nur in heissen Klimaten vor, wie z. B. die Kampher bildenden Gewächse Laurus Camphora und Dryobalanops Camphora, und was das Wachholderöl angeht, so ist mir durch eigene Untersuchungen***) bekannt, dass die Beeren aus südlicheren Landstrichen (Italien) daran reicher zu sein pflegen als aus mehr nördlicheren (Schweden). Wenn dem gegenüber hervorgehoben wird, dass manche Pflanzen im gemässigten Klima stärker duften als im warmen (Rheinwein), so ist dies gewiss in vielen Fällen auf Ester der Fettsäurereihe, welche anderen Entstehungsbedingungen unterliegen (Anwesenheit von viel Pflanzensäure), zurückzuführen. Die ätherischen Öle gehen, wie schon früher angedeutet, durch Oxydation leicht in Harze über.

*) Dieser Körper, dem die rationelle Formel $C_6H_4 \left\{ \begin{array}{c} O - CO \\ | \\ CH = CH \end{array} \right.$ zugeschrieben wird, kommt ausser in Asperula odorata und Anthoxanthum odoratum noch vor in Melilotus officinalis und am massenhaftesten in den Tonkabohnen, er erteilt (als Bestandteil des eben genannten Grases) dem Heu seinen Wohlgeruch und z. T. selbst noch der Butter ihren Wohlgeschmack, daher auch als „Butteraroma" in den Handel gebracht.

**) Über die Konstitution vergl. auch Tschirsch: Pringsh. Jahrb., 25, p. 370.

***) Nieuwe Landbouw-Courant, 1883, Nr. 71.

†) Namentlich Bienen. Vergl. Lubbok: La vie des plantes, 1889, p. 48.

In Bezug auf die physiologische Bedeutung der ätherischen Öle kann man annehmen, dass dieselben wie die Harze mit ihrer Ausscheidung unfähig werden, der Pflanze *direkten Nutzen* zu bringen, dass sie mit anderen Worten nicht wieder vom Zellsaft aufgenommen und neu verarbeitet werden können.

Einen indirekten sogenannten biologischen Vorteil möchte die Bildung der stark duftenden Kohlenwasserstoffe insofern für manche Pflanzen haben, als hierdurch Insekten*), die, wie wir wissen, zur Befruchtung mancher Blüten unentbehrlich sind, angelockt werden können, natürlich aber dauernd nur dann, wenn die duftenden Blüten auch zugängliche Nahrung für die Insekten enthalten. Auch ist zu denken an die durch Beimengung von ätherischen Ölen stark verminderte Wärmeausstrahlung, die solche Pflanzen und Pflanzenteile in kalten Nächten vor Frostschaden bewahren könnte.

Die *Pflanzenfarbstoffe*, die, wie schon ein Blick in die bunte Blumenwelt lehrt, einer sehr grossen Verbreitung sich erfreuen, wenn auch die meisten derselben nur in geringen Mengen in der Pflanze auftreten, sind grossenteils noch sehr wenig ihrem chemischen Verhalten nach gekannt. Einem dieser Farbstoffe, dem Chlorophyll und einigen Verwandten desselben, kommen, wie wir früher festgestellt haben, solange er dem lebenden Protoplasma angehört, die tiefgreifendsten physiologischen Funktionen zu. Von der Rolle, die andere Farbstoffe in den Pflanzen etwa spielen, ist aber *nichts* bekannt.

Die Bildungsweise der verschiedenen Farbstoffe der Pflanzen ist ebenso sehr in Dunkel gehüllt, wie die der gerade vorher abgehandelten Substanzen. *Vom Lichte* ist aber wenigstens die Ausbildung der Blütenfarbstoffe, soweit man in dieser Richtung Untersuchungen**) angestellt hat, *unabhängig*.

In manchen Pflanzen, namentlich auch in einigen Kryptogamen (Flechten) bilden sich Farbstoffe und sogenannte Chromogene in grösseren Mengen, und gestatten in vielen Fällen die ausgedehnteste technische Benutzung für die Zwecke der Färberei; ich nenne nur den Lackmusfarbstoff aus Flechten, der als Reagens auf Säuren und Basen unentbehrlich geworden ist, das Orleanrot oder Bixin aus dem Mark der Früchte von Bixa Orellana, womit die Molkereiproduzenten gegenwärtig ihre Käse und Butter färben, das Indican, das bekannte Chromogen des Indigo. Ein Teil dieser Stoffe ist übrigens stickstoffhaltig.

Lange erschien es nicht ausführbar, die Pflanzenfarbstoffe künstlich darzustellen; für einen der bekanntesten und technisch wichtigsten, für das Alizarin, ist dies indes neuerdings gelungen***) und damit der Krappkultur der Todesstreich versetzt; einige Jahre später ist dies auch für den Indigofarbstoff geglückt. Auch ist die

*) Namentlich Bienen. Vergl. Lubbok: La vie des plantes, 1889, p. 48.

**) Vergl. J. Sachs: a. a. O. p. 36. Beobachtungen auf hohen Gebirgen über die Intensität der Blütenfarben legen zwar die Vermutung einer Beziehung des Lichts zu dieser nahe. Indessen beweist das Auftreten der gleichen Erscheinung bei der arktischen Flora die Unrichtigkeit dieser Vermutung. Man hat vielmehr wohl die fragliche Erscheinung als ein Resultat der Züchtung aufzufassen. Vergl. Grisebach: Die Vegetation der Erde, Leipzig, 1872, I, p. 50.

***) Das Alizarin ist Dioxyanthrachinon: $C_6H_4{<}^{-CO-}_{-CO-}{>}C_6H_2(OH)_2$.

organische Chemie auf dem besten Wege, in dieser Richtung bald noch Erstaunlicheres zu leisten. Für unsere Zwecke hat es keinen Wert, näher auf die Zusammensetzung der Pflanzen-Farbstoffe und der diesen chemisch nahestehenden Chromogene, sowie auf die Nennung und Beschreibung der sie erzeugenden Pflanzen einzugehen.

Die *Glycoside* sind im Gegensatz zu den eben besprochenen Verbindungen eine chemisch einigermaassen wohl charakterisierte Gruppe, die auch in der Pflanzenwelt in grosser Verbreitung sich findet. Es lässt sich für dieselben ein ihnen allen gemeinschaftliches chemisches Verhalten angeben, das darin besteht, dass sie sich leicht unter Aufnahme von Wasser in eine Glycose, gewöhnlich Traubenzucker, und einen andern Körper zerspalten. Auch ein Teil der früher mehr oder weniger nach rein äusseren Eigenschaften gruppierten Bitterstoffe und Gerbstoffe, selbst einiger Chromogene verhält sich analog, wie z. B. auch das Alizarin nicht als solches, sondern als Glycosid in der Krapppflanze vorzukommen scheint.

Als geeignete Beispiele wären zu nennen: das in der Weidenrinde auftretende *Salicin*, das sich unter Einwirkung von Fermenten in *Saligenin* und Zucker zerspaltet nach der Gleichung:

$$C_{13}H_{18}O_7 + H_2O = C_7H_8O_2 + C_6H_{12}O_6,$$

das *Phoridzin* ($C_{21}H_{24}O_{10}$), das in den Rinden unserer gewöhnlichen Obstbäume vorkommt und eine ganz ähnliche Zersetzung erleidet, das *Äsculin* ($C_{21}H_{24}O_{13}$), jener stark fluoreszierende Bestandteil der Kastanienrinde, der auch bei einer gewissen Behandlung Zucker abscheidet. Wie man sieht, haben die Glycoside meistens nach den Pflanzen, in welchen sie gefunden werden, ihren Namen bekommen.

Aus dieser allgemeinen Eigenschaft der in Rede stehenden Stoffgruppe, Zucker von der Zusammensetzung $C_6H_{12}O_6$ abzuspalten, erklärt sich der Name Glycoside. Man erkennt aus dem Gesagten, dass die Gemeinsamkeit dieser Verbindungen in Bezug auf ihre Konstitution eben darin besteht, dass sie als gemischte Äther aufgefasst werden können, deren einer Alkohol eben Zucker ist, während der andere konstituierende Bestandteil eine äusserst verschiedenartige Zusammensetzung haben kann. Es ergiebt sich hieraus eine Beziehung der Glycoside zu den wasserärmeren Kohlenhydraten, Stärkemehl, Inulin, Rohrzucker, die sich bis auf das physiologische Gebiet erstreckt. Diese sind ja auch als Anhydride oder als gemischte Äther nur ausschliesslich aus den wasserreicheren Kohlenhydraten gebildet zu betrachten und erzeugen diese durch Wasseraddition und Spaltung, sogen. Hydrolyse. Auch wird diese entsprechende Reaktion in beiden Fällen auf analoge Weise bewirkt, künstlich namentlich durch Einwirkung verdünnter Säuren, in der Natur durch sich sehr ähnlich verhaltende enzymartige Pflanzenbestandteile.

Wenn nun auch über die Bildungsweise der Glycoside in den Pflanzen wenig bekannt ist, so deutet doch die oben beleuchtete *chemische Beziehung* zu den wichtigsten Kohenhydraten darauf hin, dass eine Wiederanwendung wenigstens des einen Teils der einmal in Form von Glycosiden vorhandenen organischen Substanz stattfinden kann, so dass sie also unter gewissen Umständen als wahre Reservestoffe betrachtet werden können, die bei einem neu beginnenden Vegetationsprozess Zerfall erleiden und dadurch den Keim oder Spross mit Bildungsmaterial versorgen. So

hat man z. B. in jungen Rebenblättern*) neben Inosit und Äpfelsäure viel Quercitrin $C_{18}H_{18}O_{10}$ aufgefunden, dagegen in den älteren neben Weinsäure Zucker und den anderen Spaltungskörper des Quercitrins, das Quercetin $C_{12}H_8O_5$. Eine andere Beziehung ist das Auftreten derartiger Stoffe in den unreifen Früchten, in denen sie beim Reifwerden langsam verschwinden**). Doch sind diese Verhältnisse experimentell noch zu ungenügend aufgeklärt, um eine allgemeine physiologische Theorie der in Rede stehenden Körperklasse zu ermöglichen. Da viele Glycoside ähnlich wie die Gerbstoffe herbe schmeckende Körper sind, daher der ältere Name Bitterstoffe, oder da gar einige von ihnen während der Spaltung giftige Stoffe (wie Blausäure aus dem Amygdalin) erzeugen, so verdient auch die Meinung Nägeli's Berücksichtigung, wonach der Nutzen solcher Stoffe in dem Abschrecken von Pflanzenschädlingen gesucht werden darf, und so wäre denn auch auf eine biologische Bedeutung derselben hingewiesen.

Die *Gerbstoffe* oder *Gerbsäuren* sind in der Pflanzenwelt weit verbreitete Substanzen, die kohlenstoffreicher, aber zugleich auch sauerstoffreicher (in Bezug auf den Wasserstoff) sind als die Kohlenhydrate. Dieselben fallen nur insofern unter die eben behandelte Gruppe, als einer der verbreitetsten Gerbstoffe manchmal mit Zucker gepaart in den Pflanzen auftritt (Glycotannin). Die Gerbsäuern finden sich namentlich in den Rinden vieler Bäume, oft gleichzeitig mit den Harzen, mit welchen sie möglicherweise in genetischer Beziehung stehen, dann auch vorzugsweise in den durch Insektenstiche erzeugten abnormen Wucherungen und Auswüchsen mancher Gewächse, wie den Galläpfeln, die ein Hauptmaterial zur Gewinnung der genannten Stoffe bilden. In geringeren Mengen findet man dieselben auch in den meisten anderen Pflanzenteilen, in Blättern, Früchten, Wurzeln u. s. w., auch häufig in gekeimten Samen, die ursprünglich keine enthielten. Der zusammenziehende Geschmack, namentlich mancher Beeren, wie z. B. der Heidelbeeren, Preisselbeeren, aber auch mancher Obstsorten, besonders der unkultivierten „Holzäpfel“, rührt von dem bedeutenden Gehalt an Gerbstoffen her. In den Blättern hat man in der Regel bei Stattfinden des Produktionsprozesses eine Vermehrung derselben konstatieren können***), was aber noch nicht notwendig eine direkte Beziehung zu denselben zu bedeuten braucht.

Einige charakteristische chemische Reaktionen der Gerbstoffe sind allgemein bekannt, die dunkeln Färbungen, die sie mit Eisensalzen geben und worauf die Darstellung der Dinte sowohl als die Schwarzfärbung eisenhaltiger Weine beruht, und ausserdem die Eigenschaften, mit dem leimgebenden Gewebe der tierischen Haut und den Proteïnstoffen derselben durchaus unlösliche und schwer zersetzbare (der Fäulnis nicht unterworfene) Verbindungen zu bilden, die wir *Leder* nennen und denen eine so hervorragende technische Bedeutung zukommt.

Der bekannteste Gerbstoff, die Gerbsäure der Galläpfel ($C_{14}H_{10}O_9$), auch wohl Tannin genannt, ist Digallussäure und geht beim Kochen mit verdünnter Säure unter

*) Hiermit mag eine Beobachtung von Briosi in Zusammenhang stehen, der in den Rebblättern „anstatt des Stärkemehls“ Gerbstoff gefunden zu haben angiebt.

**) Vergl. in dieser Beziehung die Studien von Brunner und Chuard über die Glycobernsteinsäure, Chem. Ber., 19, p. 598.

***) G. Kraus: Grundlinien zu einer Physiologie der Gerbstoffe, Leipzig 1889.

Wasseraddition in Gallussäure oder Trioxybenzoësäure ($C_7H_6O_5$) über. Über die biologische Funktion der Gerbstoffe wäre ihres herben Geschmacks wegen vielleicht etwas Ähnliches zu sagen wie von den Glycosiden. Ein direkter Nährwert z. B. als Reservestoff, wofür man Andeutungen zu besitzen glaubte*), wird ihnen insofern zukommen, als sie noch mit Glycose gepaart sind.

Die *Pflanzensäuren* endlich sind *chemisch wohlstudierte* und ihrer Natur nach bekannte Körper. Dunkler ist ihre Bedeutung für den Pflanzenorganismus; doch hat man auch in dieser Beziehung in den letzten Jahren entschiedene Fortschritte gemacht. — Wir haben schon früher einmal davon gesprochen, dass eine Zeit lang die Meinung herrschend war, man habe es in diesen relativ hochoxydierten Substanzen mit Übergangsstufen zwischen dem anorganischen Material, Kohlensäure und Wasser und den Kohlenhydraten bei der Produktion von organischer Substanz zu thun. Man dachte sich, dass bei dem Reduktionsprozess, den die grüne Pflanze in sich vollzieht, nicht gleich die sauerstoffärmeren Substanzen entstehen sollten, sondern dass dabei verschiedene intermediäre Stadien durchlaufen werden müssten, als welche man die Pflanzensäuren anzusprechen geneigt war. Diese Hypothese stand im Zusammenhang mit einer Theorie der Wirksamkeit derjenigen anorganischen Basen, deren Unentbehrlichkeit für die Pflanzen wir bald zu beweisen haben werden.

So gut nun jene aufgestellte Hypothese diese Unentbehrlichkeit zu erklären schien, so musste dieselbe doch, als mit den beobachteten Thatsachen nicht in Einklang stehend**), wieder verlassen werden. Als solche Thatsachen sind früher (4. Vorlesung) hervorgehoben worden die Volumgleichheit der verarbeiteten Kohlensäure und des erzeugten Sauerstoffs und das unmittelbare Auftreten von Kohlenhydraten in den Chlorophyllkörnern während der Assimilation.

Man hat dem entgegen wohl auf das anfängliche Überwiegen der Pflanzensäuren in reifenden Früchten, z. B. den Trauben, aufmerksam gemacht, welches bei der erfolgten Reife einem Zurücktreten dieser für unsere Zunge unliebsamen Stoffe gegen die Kohlenhydrate Platz macht und auf einen allmählichen Übergang dieser Säuren

*) E. Schulze: Biederm. Centralbl., 1889, p. 137. Die experimentelle Grundlage erscheint übrigens in jeder Beziehung unsicher aus Gründen, die Reinitzer namentlich in Bezug auf die Tragweite der Kraus'schen Beobachtungen hervorhebt (Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., VII, p. 187).

**) Vergl. die Beobachtungen Famintzins: Journ. f. Landw., 1870, Jahresber., p. 282 und die Zuzammenstellungen von A. Fitz: Annal. d. Önolog., II, p. 235 u. f. Nur für einen besonderen Fall, für die Crassulaceen und einige andere dickblättrige Pflanzen, ist, wie früher p. 62 Anm. erwähnt, der Beweis geführt, dass die nächtlich entstehende Säure (Isoäpfelsäure) unter allen Anzeichen und auch unter Entstehung der Produkte des gemeinen Produktionsprozesses wieder verschwindet. Wenn aber selbst diese interessante Thatsache die Bedeutung haben sollte, dass manche Säuren als intermediäre Stoffe zwischen Kohlensäure einerseits und Kohlenhydraten andererseits aufzufassen wären, so wäre die praktisch physiologische Bedeutung dieses Satzes doch nicht so weittragend, als die ältere Theorie wollte, da eben die Verhältnisse des Gaswechsels beim Assimilationsprozesse zur Genüge lehren, dass, welche auch die Zwischenstufen sein mögen, in jedem Augenblicke der Abschluss der Reaktion bis zur Bildung der Kohlenhydrate erreicht wird. Vergl. Landw. Versuchsst., B. 21, p. 277; B. 30, p. 217; B. 34, p. 217.

in den sauerstoffärmeren Zucker durch einen kontinuierlichen Reduktionsprozess gedeutet werden sollte. — Es ist aber dabei weder der Beweis geführt worden, dass die relative Zunahme des Zuckers nicht auf Kosten der *Einwanderung* von Kohlenhydraten vor sich gegangen sein kann, noch dass die Verminderung der Säuren während der Reife eine absolute ist, und übersehen worden, dass, wenn wirklich die absolute Abnahme dieser Stoffe*) mit genügender Sicherheit konstatiert wäre, dieselbe auch auf eine Auswanderung, auf eine Sättigung durch Basen**) oder auf eine vollständige Verbrennung zurückgeführt werden könnte. Vielmehr hat man umgekehrt gerade neuerdings nachgewiesen, dass die Verminderung der Säure in manchen Fällen, z. B. bei den Weintrauben, zu ganz andern Zeiten in Proportionen, die sich um das 20fache unterscheiden, und überhaupt unabhängig von der Zuckerzunahme vor sich geht, und dass diese letztere sichtlich auf die Stärkeeinschlüsse, welche sich in den Fruchtstielen auf dem Wanderungswege befinden, zurückgeführt werden kann***).

Wir haben daher, bis zwingende Beweise des Gegenteils vorliegen, uns die Pflanzensäuren, die wir in den verschiedenen Organen vorfinden, als durch *sekundäre Prozesse* entstehend zu denken, d. i. durch Oxydationsvorgänge der gebildeten organischen Substanz, der Kohlenhydrate oder deren Umwandlungsprodukte, z. B.

*) Zuweilen handelt es sich geradezu um Zunahme, welche nur durch die noch stärkere Zuckerzunahme verdeckt wird. Brunner und Chuard: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1886, p. 618.

**) Für die Äpfelsäure bei herannahender Reife ist eine solche Sättigung behauptet worden; vergl. Neubauer: Landw. Versuchsst., 1869; übrigens auch ebenda 1865, p. 357. In dem von Famintzin beschriebenen Falle lässt sich indessen nichts auf diese Weise erklären; vergl. Annal. d. Önolog., II, p. 259. Die von Beyer über das Reifen der Stachelbeeren mitgeteilten Versuche (vergl. Landw. Versuchsst., 1865, p. 355—362) scheinen zu zeigen, dass beim Reifen der Früchte wesentlich eine Einwanderung von Zucker eintritt und hierdurch die Säuren, Aschenbestandteile, Proteïnstoffe eine gleichmässige relative Verminderung erleiden. Die von Bérard (vergl. Rochleder, Chemie u. Physiol. d. Pfl., 1858, p. 154) an Sommerpfirsichen, Reineclauden, Aprikosen, Stachelbeeren, Kirschen und Birnen angestellten vergleichenden Analysen im reifen und unreifen Zustande lehren keine absolute Säureverminderung kennen; und jedenfalls muss die daselbst konstatierte Zuckervermehrung auf Kosten von andern Stoffen, vorzüglich kondensierten Kohlenhydraten der Zellwand, vor sich gegangen sein, soweit sie nicht der Einwanderung zugeschrieben werden kann. — Vergl. schliesslich die Untersuchungen über das Reifen der Trauben, Pfeiffer: Annal. d. Önologie, B. 6, p. 1.

***) Es ist ferner bei jener Argumentation, die übrigens eigentlich nur von mit den anatomischen und physiologischen Verhältnissen wenig vertrauten Chemikern angestellt worden ist, ganz ausser acht gelassen worden, dass man es in den Früchten, in denen man die genannten Reduktionsprozesse arglos vor sich gehen liess, selbst wenn sie eine durchaus grün gefärbte Schale haben sollten, unter allen Umständen mit sehr unvollkommenen Reduktionsapparaten zu thun hat, wie dies ohne allen Zweifel aus den mit Früchten angestellten Atmungsversuchen (vergl. Compt. rend., T. 58, p. 495 u. 653, und H. Müller-Thurgau: Kongressbericht, Dürkheim 1882) hervorgeht. Die in denselben verlaufenden Oxydationserscheinungen überwiegen die Reduktionserscheinungen; und es bliebe daher nichts übrig, als das Kohlenhydrat durch Spaltung (partielle Reduktion) aus den Säuren entstehen zu lassen, wobei dann gleichzeitig Kohlensäure entwickelt werden müsste.

auch der Proteinstoffe*), oder auch, soweit sie wie die Oxalsäure sehr sauerstoffreich sind, als Spaltungsprodukt beim Entstehen reduzierterer Verbindungen aus den Kohlenhydraten**). Schon hieraus geht hervor, dass man die verschiedenen Pflanzensäuren, was ihre Entstehung angeht, nicht über einen und denselben Kamm scheren darf.

Von den hochoxydierten Pflanzensäuren werden nun am gewöhnlichsten die *Oxalsäure,* die *Ameisensäure,* die *Citronensäure*, die *Trauben-* und *Weinsäure,* die *Äpfelsäure* und eine Isomere derselben in der Pflanze angetroffen.

Die *Oxalsäure* (Kleesäure) ist wohl in den meisten Pflanzen, in denen man nach ihr gesucht hat, aufgefunden worden. Der uns allen bekannte stark saure Geschmack des Sauerklees *(Oxalis)* und des Sauerampfers rührt von dem Gehalt an sauren Salzen derselben her. Ihre Zusammensetzung wird ausgedrückt durch die Formel $C_2H_2O_4$, ihre Konstitution durch $[COOH]_2$; dieselbe kann also bestehend gedacht werden aus Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasser, steht also, wie die andern hier zu besprechenden Substanzen, hinsichtlich ihres Sauerstoffgehalts zwischen den Kohlenhydraten und den anorganischen Rohmaterialien der Produktion von organischer Substanz, doch weit näher an diesen. Die Oxalsäure ist, wie aus der Konstitutionsformel sich ergiebt, zweibasisch und eine sehr starke Säure, die hinsichtlich der Energie ihrer Affinitäten zu den Basen mit vielen mineralischen Säuren wohl zu konkurrieren vermag; sie kommt in der Pflanze nur zum kleinen Teile frei (z. B. in Boletus sulfureus), sondern meist an die Basen Kalk und Kali gebunden vor, und es finden sich häufig ganze Krystalldrusen von oxalsaurem Kalk gewöhnlich angehäuft in ganz besonderen Zellen, aber in den allerverschiedensten Pflanzenteilen. Doch sind junge grüne Sprossen und chlorophyllfreie Schmarotzer durchgehends oxalsäurearm***).

Für die Oxalsäure ist kürzlich eine nicht unwichtige physiologische Funktion mit Wahrscheinlichkeit aufgefunden worden. Sie soll vermöge ihrer grossen Stärke unorganische Salze zersetzen und die Säure daraus freimachen, so namentlich die Salpetersäure, die alsdann weiter verarbeitet werden würde†). Dann ist schon hier auf die Bedeutung aufmerksam zu machen, die eine saure Reaktion des Zellsaftes der Wurzelzellen für die Assimilation von in Säure löslichen Bodenbestandteilen haben muss; aber diese Bemerkung gilt natürlich auch für die anderen Pflanzensäuren und für alle nur insofern, als sie noch in der Form von freier Säure oder von sauren Salzen anwesend sind.

*) Man denke z. B. auch an die Entstehung des Asparagins (siehe weiter unten 15. Vorl.), welches ja mit der Äpfelsäure nahe verwandt ist.

**) Vergl. z. B. die Schlüsse von Berthelot (Compt. rend., 102, p. 995), der gerade beim Entstehen der Eiweissstoffe die Oxalsäure sich abspalten lässt.

***) Wehmer: Landw. Versuchsst., 40, p. 81. Diese Thatsachen weisen vorläufig auf eine Entstehung der Oxalsäure im Sinne Berthelot's mehr als durch Oxydationsprozesse.

†) Vergl. Emmerling: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1872, p. 780. Holzner glaubt das Gleiche für phosphorsaure und schwefelsaure Salze annehmen zu dürfen. G. Kraus findet (Botan. Ztg., 1876, Nr. 39) CaC_2O_4 immer in zuckerhaltigen Zellen.

Die *Ameisensäure,* das niedrigste Glied der Fettsäurereihe, hat die Formel CH_2O_2 (Konstitution HCOOH), kann also aus Wasser und Kohlenoxyd zusammengesetzt gedacht werden; sie ist daher sauerstoffärmer als die Oxalsäure. Sie ist sehr viel seltener im Pflanzenreiche als diese letztere, kommt aber z. B. in den Kiefer- und Fichtennadeln vor*).

Die *Traubensäure* und *Weinsäure* sind von der Formel $C_4H_6O_6$ (Konstitution $[HCOH]_2[COOH]_2$), also einander isomer und wieder etwas sauerstoffärmer als die eben genannte Säure. Dieselben unterscheiden sich nur durch ganz untergeordnete Eigenschaften voneinander, hauptsächlich durch die Unwirksamkeit der Traubensäure dem polarisierten Lichtstrahl gegenüber, während die Weinsäure die Polarisationsebene dreht. Beide sind äusserst verbreitet im Pflanzenreiche und finden sich gebunden an Kalk oder Kali in den Trauben und sonstigen Früchten, auch in anderen Pflanzenteilen, meistens als saures Kalisalz. Das letztere ist unlöslich in alkoholischen Flüssigkeiten, daher es z. B. aus dem gegorenen Weine auskrystallisiert (Weinstein).

Noch etwas sauerstoffärmer und darum den Kohlenhydraten noch etwas näher stehend sind *Citronensäure* und *Äpfelsäure* mit den Formeln $C_6H_8O_7$ und $C_4H_6O_5$ (Konstitution der letzteren $CH_2, HCOH, [COOH]_2$). Die Citronensäure ist ausserordentlich verbreitet in dem Safte vieler Früchte, namentlich in den Citronen, aber auch in Zwiebeln, Knollen und manchen Blättern, sie ist ferner als Bestandteil von ungekeimten Samen vorgefunden worden**); sie ist dreibasisch und darum befähigt, saure Salze zu bilden, und solche sind es, die wir hauptsächlich in dem Safte jener Pflanzenteile antreffen. Da sie in solchen sauren Verbindungen auch viel in den unterirdischen Pflanzenteilen vorzukommen scheint, so ist sie wahrscheinlich in erster Linie beteiligt bei der Aufnahme basischer Stoffe aus dem Erdboden, und es ist wohl kein Zufall, dass sie vielfach als ein Maassstab für die Assimilierbarkeit von Düngestoffen gebraucht wird.

Die Äpfelsäure soll namentlich in den unreifen Früchten, besonders in Äpfeln und Vogelbeeren angetroffen werden, findet sich aber auch in vielen andern, namentlich auch grünen Pflanzenteilen. Dieselbe scheint in den unreifen Früchten vorzugsweise als saures Salz vorhanden zu sein und beim Heranreifen dieser mehr und mehr durch Basen abgestumpft zu werden, worauf, wie wir gesehen, zum Teil auch das Zurücktreten des sauren Geschmacks im reifen Obst zurückgeführt werden kann. Ferner gehen auch äpfelsaure Salze während des Reifungsprozesses in weinsaure Salze über, was, wie die Konstitutionsformeln lehren, durch Oxydation (eine Hydroxylgruppe an Stelle von einem Atom Wasserstoff) geschehen kann. Darum ist unter den Säuren der ausgereiften Trauben die Weinsäure vorherrschend. In unreifen Trauben wurden

*) Eine in den Lehrbüchern sich forterbende Behauptung schreibt die Wirkung der Brennhaare der Nesseln der Ameisensäure zu. Der Verfasser hat einmal durch einen Schüler eine kleine Untersuchung über diesen Gegenstand vornehmen lassen, woraus zu erhellen schien, dass eher ein Alkaloid als eine Säure das „Brennen" der Nesseln bewirke. Dies Resultat später bestätigt durch Haberlandt: Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch., I, 1886.

**) In den Lupinen, in denen sie während des Keimungsprozesses zurücktritt. Vergl. E. Schulze a. Umlauft: Landw. Jahrb., 1876, S. 821.

in Übereinstimmung hiermit auch grössere Mengen von Bernsteinsäure vorgefunden *).

Neben diesen weitverbreiteten Säuren werden nun auch noch in seltneren Fällen andere wie die *Fumarsäure*, die *Akonitsäure*, die *Mekonsäure*, die *Chinasäure*, die *Benzoësäure* **), die *Chelidonsäure* u. a. m. in den grünen Pflanzen — in welchen, sagt gewöhnlich der Name — vorgefunden. Auch hat man die Glyoxylsäure ***) und die Glycolsäure von den Formeln $C_2H_2O_3$ und $C_2H_4O_3$ im Pflanzenreiche aufgespürt; die letztere findet sich in den Blättern und Früchten des wilden Weines, sowie auch im Weinstock †). Auch die *Essigsäure* ist in Keimpflanzen nachgewiesen worden ††).

Zur Erleichterung des Überblicks gebe ich in Tafel I die Zusammensetzung der wichtigsten, in diesen drei letzten Vorlesungen behandelten organischen Substanzen in einer systematischen Übersicht. Es kann sich hierbei nicht um die *chemische Konstitution* dieser Substanzen handeln. Die lebende Pflanze scheint sich, wie mehrfach betont, gleichsam sehr wenig bei den Umwandlungsprozessen, die sie vornimmt, um diese Konstitution zu bekümmern; d. h. im Organismus der Pflanze sind eben die geheimnisvollen Bedingungen der Änderung der Konstitution eines Stoffes gegeben. Der nähere Einblick in dieselbe kann daher für unseren Zweck vorerst — unbeschadet des Grundsatzes, dass sich die Forschung auch dieser einstweilen wenig fruchtbaren Richtung zu befleissigen hat — nur von geringem Nutzen sein. — Wohl aber scheint es mir nützlich, eine leicht fassliche Übersicht über die Zusammensetzung dieser Substanzen ohne alle Rücksicht auf die Konstitution derselben zu geben, ihre *empirischen Formeln* auch ohne Berücksichtigung ihrer Molekulargrösse in einer Weise anzuordnen, dass aus ihrer Stellung ihr relativer Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff unmittelbar hervorgeht und sich leicht dem Gedächtnisse einprägt. Für Substanzen von ternärer Zusammensetzung ist dies durch eine Anordnung in zwei Dimensionen, also auf einer Fläche möglich, so dass durch konsequente Aneinanderreihung eine jede Substanz von eigentümlicher empirischer Formel ihren ganz bestimmten, ihr allein zukommenden Platz erhält.

Eine solche Zusammenstellung der empirischen Formeln, wie ich sie auf Tafel I vorgenommen habe, gewährt, namentlich durch diesen raschen Überblick über die relative Zusammensetzung der einzelnen Substanzen, den bedeutenden Vorteil, dass man sofort weiss, auf welchem Wege eine Substanz aus der anderen entstehen kann, ob durch Sauerstoffaufnahme, Wasseraufnahme oder nur durch Spaltung; und ich glaube, dass sie wohl im stande ist, vor manchen irrtümlichen Schlüssen zu warnen, wie sie wohl in der Pflanzenphysiologie mit Ausserachtlassung dieser Verhältnisse gemacht worden sind.

*) Brunner u. Brandenburg: Deutsch. chem. Ber., 76, 982.

**) in Vaccinium vitis Idaea: Landw. Versuchsst., 38, p. 69.

***) Chem. Ber., 1886, p. 595.

†) Ann. d. Chem. u. Pharm., 1772, Febr. u. März.

††) Wenn wir unsere Betrachtungen auf das gesamte Pflanzenreich erstrecken wollten, so müssten wir angesichts der durch niedrige Pilze eingeleiteten Gärungsprozesse noch eine grössere Anzahl anderer Pflanzensäuren hier anreihen.

Ich habe die Anordnung in der Weise vorgenommen, dass im Centrum der Tafel Substanzen von der Zusammensetzung des Traubenzuckers, also von der empirischen Zusammensetzung CH_2O sich finden, dass dann nach oben hin der Sauerstoffgehalt successive eine Zunahme, nach unten hin eine Abnahme erleidet, bis man oben am reinen Sauerstoff, unten am reinen Kohlenwasserstoff CH_2 angekommen ist. Vom Centrum ausgehend nimmt dann nach rechts der Kohlenstoffgehalt zu, bis endlich der reine Kohlenstoff erreicht ist, nach links ab, bis man am Wasser angekommen ist. — Es ist leicht ersichtlich, dass auf einer solchen Tafel alle organischen Substanzen, die bloss aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, ihren fest angewiesenen Platz erhalten, und dass es zu diesem Zwecke nicht noch erforderlich ist, den Wasserstoff besonders variieren zu lassen. Derselbe nimmt durch das Variieren der beiden andern Elemente relativ zu diesen schon alle möglichen Werte an.

Ich bitte einstweilen die durch doppelte kleine Kreise bezeichneten Stoffe ausser acht zu lassen und nur die übrigen ins Auge zu fassen. Allen diesen mit dem Namen der Substanzen, die sie repräsentieren, versehenen Zeichen ist genau die Stelle der Tafel angewiesen worden, die ihnen ihres relativen Gehalts an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff wegen gebührt. Es ist auf diese Weise möglich, ohne Einprägung einer komplizierten Formel, die überdies nach den jeweilig geltenden chemischen Theorieen Änderungen unterworfen ist, sich rasch und annähernd genau eine Vorstellung davon zu verschaffen, ob man es in irgend einer der von uns behandelten Substanzen mit einer hochoxydierten oder starkreduzierten, wasserstoffreichen oder -armen Verbindung zu thun hat. Für die reine Chemie dagegen, wo es noch auf ganz andere Dinge ankommt als auf eine Vorstellung von diesen Verhältnissen, würde eine derartige Tafel nur einen untergeordneten Wert haben.

Die Betrachtungen der fünf letzten Vorlesungen berechtigen uns endlich zur Aufstellung von folgenden neugewonnenen Sätzen:

1. Die in der chlorophyllhaltigen Zelle gebildete organische Substanz ist fähig, Zellhaut und Primordialschlauch durchdringend, von einer Zelle zur andern zu wandern und so schliesslich in ganz entlegene Teile der Pflanze zu gelangen.
2. Wie das hauptsächlichste Produkt der ersten Assimilationsthätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle das Stärkemehl ist, so ist auch dieser Stoff in den meisten Fällen diejenige chemische Form, in der wir die organische Substanz die Wanderung vornehmen sehen.
3. Das Stärkemehl, als solches natürlich unfähig, die Zellhaut zu durchdringen, wird bei Vollzug dieses Aktes vorübergehend in einen im protoplasmatischen Zellsaft löslichen, zuckerartigen Stoff verwandelt.
4. Es existieren in der lebenden Pflanze mannigfache Arten des Übergangs der einzelnen organischen Stoffe in andere, so dass sehr verschieden zusammengesetzte in gewissem Sinne als physiologisch gleichwertige betrachtet werden können. Am wichtigsten darunter sind die Beziehungen der Fette zu den Kohlenhydraten.
5. Wenn Fette in Kohlenhydrate übergehen können durch einfache Oxydation, so ist der umgekehrte Übergang nicht zu erklären durch Reduktion, sondern

durch einen Spaltungsprozess, bei dem das hauptsächliche sauerstoffreichere Spaltungsprodukt unzweifelhaft Kohlensäure ist.

6. Die produzierte organische Substanz kann verwendet werden zur Ausbildung neuer Organe, deren Zellstoff auf das Stärkemehl, das der Bildungssaft aufgenommen hat, oder einen stellvertretenden Stoff zurückgeführt werden kann.
7. Ein Teil der produzierten organischen Substanz, der nicht in der gerade gegenwärtigen Vegetationsperiode zur Neubildung Verwendung findet, wird in der Pflanze in zweckmässig gelegenen Gewebeteilen in Form von Stärkemehl, Inulin, Zucker, Öl aufbewahrt, um einer kommenden Vegetation zur Nahrung zu dienen.
8. Ausser dem Sauerstoff, den die Pflanze durch ihre sauerstoffhaltige Nahrung in sich aufnimmt, bedarf dieselbe zur Erhaltung ihres Lebens des freien Sauerstoffs.
9. Die Aufnahme des freien Sauerstoffs ist verbunden mit der Ausgabe von Kohlensäure. Die Pflanze unterhält somit einen wahren Atmungsprozess ganz analog der tierischen Atmung.
10. Die Aufnahme von Sauerstoff steht meistens zur Ausgabe von Kohlensäure in einem einfachen Verhältnis (1 : 1 nach den Volumen), jedoch nicht immer, namentlich dann nicht, wenn reichliche Stoffumwandlungen in dem atmenden Organe vollzogen werden.
11. Der Atmungsprozess steht in einer innigen Beziehung zur Thätigkeit des Protoplasmas und ist am intensivsten in den Organen, wo intensive Vegetationsvorgänge, wie Keimung, Knospung, geschlechtliche Vorgänge, stattfinden.
12. Für manche Lebenserscheinungen höherer und besonders niederer Pflanzen kann ein blosser Spaltungsprozess mit Ausgabe von Kohlensäure, eine „innere“ Atmung an Stelle der Atmung freien Sauerstoffs treten (Gärungserscheinungen).
13. Die infolge der Atmung entstehende Wärme kann an den Pflanzen experimentell nachgewiesen werden.
14. Es giebt eine grosse Reihe chemisch zum Teil genau gekannter organischer, nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehender Substanzen, welche Bestandteile der lebenden Pflanzen sind.
15. Für einige Gruppen dieser Substanzen sind klare Beziehungen zu den wichtigsten Lebensvorgängen der Pflanze erkannt, und diese Gruppen finden wir auch mit grosser Regelmässigkeit in den verschiedensten pflanzlichen Organismen vertreten.
16. Diejenigen Gruppen von organischen Substanzen, für die keine Beziehungen zu den wichtigsten Lebenserscheinungen der Pflanze bekannt sind, treten weit unregelmässiger und meistens nur in gewissen Pflanzenformen auf und unter gewissen Lebensbedingungen, so dass häufig ein Schluss auf ihre nur sekundäre Bedeutung oder gar ihre Entbehrlichkeit erlaubt erscheint.
17. Über den Chemismus des Entstehens und Vergehens der einzelnen Substanzen im Pflanzenleibe ist fast nichts bekannt.
18. Die Mehrzahl der Kohlenhydrate und die Glyceride, in gewisser Hinsicht auch noch die Glycoside und einige Pflanzensäuren, sind die einzigen der betrach-

teten Substanzen, von denen mit Sicherheit behauptet werden kann, dass sie wieder von der protoplasmatischen Zellflüssigkeit aufgenommen und zu Neubildungen benutzt werden können.

19. Die übrigen Stoffe sind jedenfalls grossenteils, einmal gebildet, unfähig, wieder in den Stoffwechsel der Pflanze einzutreten. Ihre Bedeutung ist, soweit erkannt, mehr eine biologische als eine physiologische.

20. Die Pflanzensäuren sind vermutlich grossenteils Oxydationsprodukte und werden meistens durch weitere Oxydation wieder zerstört. Ihre Funktion in den Wurzelhaaren ist die einer Teilnahme an der Löslichmachung der Bodennährstoffe.

Zweiter Abschnitt.

Die stickstoffhaltigen Bestandteile der Pflanzen.

Elfte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze. — Die stickstoffhaltigen Nährstoffe der Pflanze.

Wir haben in unsern bisherigen Betrachtungen dergleichen gethan, als bestünde der ganze Organismus der Pflanze lediglich aus den drei Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Nur gelegentlich wurde hie und da eine Bemerkung gemacht, aus der geschlossen werden konnte, dass noch andere Elemente sich normal und naturnotwendig an dem Aufbau dieses Organismus beteiligen. — Wir haben diese Thatsache bisher vorzüglich deshalb verschwiegen, weil die bereits gemachten Mitteilungen sich in vollständigem Zusammenhang behandeln liessen auch ohne Kenntnisnahme von derselben, und wir es für einen Vorteil erachtet haben, der Darstellung eine thunlichste Einfachheit zu geben und nicht gleich von Anfang an durch die Fülle der Details zu verwirren.

Aus dem Gesagten geht zugleich hervor, dass die Gegenstände, die wir noch weiter zu behandeln haben, nur in einer sehr lockeren Verbindung stehen mit der Theorie derjenigen Vorgänge, von deren Betrachtung wir uns abwenden, oder besser, dass es uns bis jetzt erst sehr unvollkommen gelungen ist, die direktere oder indirektere Mithilfe der nun von uns zu studierenden komplizierteren Verhältnisse an diesen Vorgängen, die ja zweifelsohne bestehen muss, festzustellen und ihrer Kausalität nach einzusehen. Wäre dies nicht der Fall, es wäre ja rein unmöglich gewesen, eine getrennte Behandlung der verschiedenen Gegenstände vorzunehmen, wie wir dies zu thun für zweckmässig erachtet haben.

In Wahrheit also — und nun ist die Zeit gekommen, wo wir uns dies nicht mehr verhehlen können — ist die Pflanze weit komplizierter zusammengesetzt als aus jenen drei Elementen. Noch mehrere andere Grundstoffe müssen als konstituierende Bestandteile aller pflanzlichen Organismen angesehen werden; *denn es gelingt nicht, diese bei Ausschluss jener Bestandteile gedeihlich fortzubringen.*

Wir werden nun in den folgenden Vorlesungen einen dieser Elementar-Bestandteile nach dem andern herausgreifen, möglichst die chemischen Verbindungen zu ermitteln suchen, in denen er in der Pflanze auftritt, uns nach den Funktionen umsehen, die diese Verbindungen in der Pflanze vollziehen, und in gleicher Weise die chemische Form zu ermitteln suchen, in welcher der fragliche Bestandteil in die Pflanze eintritt.

Wir beschäftigen uns zunächst mit den *weiteren Elementen der organischen Substanz*, vor allem mit dem *Stickstoff*.

Wenn man irgend eine ganz beliebige Pflanze in ihre Bestandteile zerlegt, so findet man — also vorerst abgesehen von den unverbrennlichen Bestandteilen — noch Stoffe in derselben vor, deren Anwesenheit sich nicht lediglich aus jener fundamentalen Thätigkeit des Chlorophyll-Organs, d. i. aus dem Zusammentreten von Wasser und Kohlensäure unter Ausgabe von Sauerstoff erklären lässt. — Es finden sich, wie wir schon früher gelegentlich angedeutet haben, ausnahmslos noch organische Substanzen in derselben vor, für welche der Bestandteil Stickstoff wesentlich ist.

In einer Beziehung ist nun hinsichtlich dieser *stickstoffhaltigen organischen Bestandteile* etwas dem ganz Ähnliches zu sagen, was wir früher für die *organische Substanz im allgemeinen* hervorgehoben haben, nämlich, dass der Pflanze zur Aneignung derselben im grossen und ganzen nur *anorganische Materialien* zu Gebote stehen, wie sich aus folgender, der früher angestellten ganz analogen Betrachtung ergiebt.

Dass die Pflanzenwelt sehr grosse Massen von stickstoffhaltiger organischer Substanz *neu erzeugt*, geht aus dem ganz zu Tage liegenden Umstand hervor, dass die Tierwelt sehr grosse Mengen von diesen Stoffen wiederum *in sich zerstört* und ausserdem auch Fäulnis- und Verwesungs-Erscheinungen das Ihrige an dem Zerfall dieser Stoffe thun. — Es kann also unmöglich die gesamte Pflanzenwelt, geradeso wie ihr auch keine genügenden Mengen von organischer Substanz im allgemeinen zum Aufbau ihres Körpers zu Gebote stehen können, nur auf Kosten von schon vorher etwa in den humosen Resten des Bodens vorhandenen stickstoffhaltigen organischen Substanzen vegetieren, sondern es liegt hierin der indirekte Beweis, dass auch im speziellen *diese stickstoffhaltigen organischen Stoffe* in grossem Maassstab *in den lebenden Pflanzen neu erzeugt* werden müssen.

Aus welchem Rohmaterial, an welchem Ort und unter welchen sonstigen Bedingungen diese stickstoffhaltige organische Substanz in der Pflanze ihre Entstehung nimmt, wird uns in dieser und den nächsten Vorlesungen beschäftigen.

Zunächst müssen wir den Ausdruck „stickstoffhaltige organische Substanz“ etwas näher zu definieren suchen. Wir kennen bis jetzt eigentlich erst eine einzige stickstoffhaltige Körpergruppe, die wir als für die Pflanzen unentbehrliche Bestandteile zu bezeichnen berechtigt sind. Es sind dies die *eiweissartigen Körper*, die auch als *Proteïnstoffe* und mit einigen weniger bekannten Synonymen, wie dem in der Fütterungslehre gebräuchlichen: *Fleischbildner*, bezeichnet worden sind. Wenn bis jetzt keine Pflanze der Elementaranalyse unterworfen wurde, in der nicht ein kleinerer oder grösserer Bruchteil Stickstoff aufgefunden werden konnte, so haben wir dies stets dem Gehalt an solchen Proteïnkörpern zuzuschreiben. Die Proteïnstoffe machen einen unentbehrlichen Bestandteil des Protoplasmas der Zellen aller jugendlichen zur weiteren Zellvermehrung fähigen Neubildungen aus; wenigstens zeigt dasselbe stets eine mikroskopische Reaktion, die wir auf Anwesenheit von Proteïnstoffen zu deuten uns berechtigt halten müssen, und die Analyse von Pflanzenteilen, die sich mikroskopisch als aus zur Neubildung fähigen, von Protoplasma strotzenden Zellen zusammengesetzt erweisen, lehrt uns unter allen Umständen deren Reichtum an Proteïnsubstanzen kennen.

Aber nicht bloss in dem Protoplasma jugendlicher Gebilde scheinen die Eiweissstoffe eine hervorragende Rolle zu spielen, man findet sie auch in Lagen und aus-

gestattet mit Eigenschaften, dass man sie als Reservestoffe für später sich entfaltende Organe auffassen muss. Sie sind dann neben Stärkemehl, wie z. B. in den Weizenkörnern, den Bohnen und den meisten anderen Samen, oder neben fettem Öl, wie in den Lupinenkörnern und den Leinsamen, oder auch neben irgend einem andern stickstofffreien organischen Vorratsstoff aufgespeichert, um gemeinschaftlich mit diesen den Neubildungen, also in der Regel der jungen Keimpflanze, die selbst noch unfähig sind, durch eigene Thätigkeit sich die zu ihrer Ausbildung nötigen Stoffe zu beschaffen, als disponible Nahrung zu dienen. Der Eiweissgehalt einer solchen jungen, noch hilflosen Pflanze ist alsdann auf jene proteïnartigen Reservestoffe, wie sie nun immer heissen mögen, zurückzuführen.

Von der Entstehung dieser Proteïnstoffe und von deren Rohmaterial werden wir nun handeln. Wir wissen zunächst aus der eben gemachten Betrachtung und aus sogleich mitzutheilenden Thatsachen, dass *die stickstoffhaltigen organischen Stoffe der Pflanzen in diesen entstehen können aus stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen*, wir fragen noch nicht, aus welchen, und *stickstofffreier organischer Substanz*. Wir sehen grüne Pflanzen, denen von aussen nichts zugeführt wird als anorganische Stoffe, der Stickstoff speziell in Form von Ammoniaksalzen oder salpetersauren Salzen, ihren Gehalt an stickstoffhaltigen organischen Stoffen um das Vielfache vermehren; wir sehen ferner, dass chlorophyllfreie Pflanzen, z. B. Schimmel auf Zuckerlösung, die also nicht die Fähigkeit haben, organische Substanz in sich zu erzeugen, bei der Ernährung mit einer stickstofffreien organischen Substanz und im übrigen lauter anorganischen Stoffen (Stickstoff wieder in Form von ammoniak- und salpetersauren Salzen) gleichfalls ihre stickstoffhaltige organische Substanz um das Vielfache des ursprünglichen Gehalts vermehren, und machen aus beiden Fakten mit Sicherheit den Schluss, dass die *Entstehung stickstoffhaltiger organischer Substanz in der Pflanze nicht notwendig an das chlorophyllhaltige Organ gebunden ist*, dass sie auch im Gegenteile in andern pflanzlichen Organen vor sich gehen kann, sobald nur schon gebildete organische Substanz und Stickstoff in irgend einer aufnehmbaren Form vorhanden ist. Und da diese Thatsache einmal feststeht, so erscheint auch die Annahme naturgemäss, dass auch in den chlorophyllhaltigen Pflanzen die Bildung der stickstoffhaltigen organischen Substanz nicht direkt aus anorganischem Material, sondern mit Hilfe der schon gebildeten stickstofffreien organischen Substanz vor sich gehe.

Obgleich nun also dieser Prozess nicht an den Chlorophyllapparat notwendig gebunden erscheint, so ist doch zur Bildung der Proteïnstoffe irgend *eine Einrichtung* erforderlich, wie sie sich eben nur im pflanzlichen Organismus vorfindet; denn im Laboratorium des Chemikers und ebenso im Körper der Tiere*) gelingt es bekanntlich nicht, den Zusammentritt von irgend einer stickstofffreien organischen Sub-

*) Wenn man nach einer fundamentalen Unterscheidung zwischen tierischen und pflanzlichen Organismen auf dem Gebiete der Ernährung sucht, so dürfte die Erzeugung der Proteïnstoffe als einzig haltbare Grundlage dienen, da die Selbsterschaffung von organischer Substanz als solches Merkmal bekanntlich mit den morphologischen Einteilungsprinzipien in einen schneidenden Widerspruch gerät.

stanz mit irgend einer anorganischen Stickstoffverbindung zu eiweissartigen Stoffen zu bewerkstelligen; allein ich wiederhole, diese Einrichtung ist nicht dieselbe wie die der chlorophyllhaltigen Zelle. Die chlorophyllhaltige Zelle ist wenigstens bei vielen Pflanzen entbehrlich zur Produktion von Proteïnstoffen, selbstverständlich vorausgesetzt, dass organische Substanz als Rohmaterial gegeben ist.

Dieser Sachverhalt verhindert nun natürlich nicht, dass die eiweissartigen Stoffe der Pflanzen auch in der chlorophyllhaltigen Zelle entstehen können; denn in den grünen einzelligen Algen findet sich natürlich auch ein eiweissreiches Protoplasma, und diese Eiweissstoffe können dann nur in einer chlorophyllhaltigen Zelle entstanden sein: aber ebenso wie in einer solchen Algenzelle bilden sich auch die Proteïnstoffe in der chlorophyllfreien Pilzzelle, z. B. der Hefenzelle, für die speziell dieser Sachverhalt mit Evidenz nachgewiesen ist*).

Wir haben also die Entstehung der Proteïnstoffe der Pflanze etwa geradeso aufzufassen wie die Entstehung irgend eines stickstofffreien organischen Stoffs, der nicht direkt seinen Ursprung jener produktiven Thätigkeit des Chlorophyllorgans verdankt, also z. B. der fetten Öle, die wahrscheinlich immer und sicherlich in den meisten Fällen durch sekundäre Prozesse aus dem zuerst produzierten Kohlenhydrate entstehen, nur dass in jenem ersteren Falle gleichzeitig mit der Umwandlung ein Eingehen einer anorganischen Stickstoffverbindung in die Zusammensetzung vorausgesetzt werden muss.

Wenn wir jetzt die Zusammensetzung berücksichtigen, welche die Proteïnstoffe zeigen, so kann für die Entstehung derselben aus Kohlenhydraten, welche ja direkt oder indirekt zur Bildung dieser Stoffe gedient haben müssen, und den der Pflanze zu Gebote stehenden anorganischen Stickstoffverbindungen folgendes ganz allgemein ausgesagt werden: *Alle Proteïnstoffe* können nur *infolge eines Reduktionsprozesses aus dem ursprünglichen Assimilationsprodukt der chlorophyllhaltigen Zelle, dem Stärkemehl* oder dessen stellvertretenden Kohlenhydraten *erzeugt werden,* sei es nun, dass man Ammoniak, freien Stickstoff oder Salpetersäure zu deren Bildung heranzieht. Wir lassen für jetzt ganz ausser acht, welcher dieser anorganischen stickstoffhaltigen Stoffe thatsächlich in der Pflanze zur Bildung der Proteïnstoffe Verwendung findet, und suchen nur das eben Ausgesagte für das Ammoniak, den sauerstoffärmsten und wasserstoffreichsten dieser anorganischen stickstoffhaltigen Körper zu beweisen, da es sich für die andern beiden möglicherweise noch in Frage kommenden Körper dann von selbst versteht**). Wenn wir die Playfair'sche empirische Formel des Eiweisses $C_{12}H_{19}N_3O_4$ zu Grunde legen — für unsere Zwecke ist es ja ohnehin gleichgiltig, welche Formel wir acceptieren, wenn sie nur empirisch

*) Vergl. A. Mayer: Lehrbuch der Gärungschemie, das zugleich als der dritte Abschnitt des zweiten Teiles dieses Lehrbuchs erscheint. Ob in der höheren Pflanze gelegentlich auch in den grünen Organen die Eiweisssynthese stattfindet, ist eine Frage, welche wir einstweilen unerörtert lassen. In manchen Fällen lassen sich Gründe dafür anführen. Vergl. z. B. Strassburger: Bau und Verrichtungen etc., 1891, p. 918.

**) Auch für die Synthese mit Hilfe von Asparagin, ein Vorgang, der häufig in der Pflanze vorzukommen scheint, gilt, wie später erhellen wird, der gleiche Satz.

annähernd richtig ist — und also die geringe Menge von Schwefel in der Konstitution der Proteïnkörper vernachlässigen, so würden die entsprechenden Mengen Zucker und Ammoniak $2\,C_6H_{12}O_6$ und $3\,NH_3$ sein oder zusammen $C_{12}H_{33}N_3O_{12}$, oder wenn wir bei dem Prozess des Zusammentritts die nötige Menge Wasser $7\,H_2O$ austreten lassen, $C_{12}H_{19}N_3O_5$, woraus also ersehen werden kann, dass durch den einfachen Zusammentritt von Ammoniak und Kohlenhydraten und entsprechenden Wasserverlust ein Körper resultieren würde, der sauerstoffreicher (1 O mehr) wäre als die Proteïnsubstanzen. Dazu kommt noch, dass der Schwefel ebenfalls nur unter Reduktion aus schwefelsauren Salzen eintreten könnte.

Wir haben aber nun in einer früheren Vorlesung gesehen, dass ein solcher Reduktionsprozess nicht an einem beliebigen Orte erfolgen kann, dass ein Reduktionsprozess unter Austritt von Sauerstoff unter allen Umständen eine *Kraftquelle* voraussetzt, *welche die zu diesem Prozesse notwendige chemische Arbeit leistet;* und da wir wissen, dass der besprochene Vorgang der Entstehung der Proteïnstoffe *an Orten* in der Pflanze, *wo keine solche Kraftquellen zur Verfügung stehen,* vor sich gehen kann, so müssen wir hier natürlich wieder den früher bei Entstehung anderer reduzierterer Körper, wie der Fette, aus Kohlenhydraten geltend gemachten Grundsatz anwenden und uns die Vorstellung bilden, dass jener Reduktionsprozess, der beim Zusammentritt von Kohlenhydraten und Ammoniak stattfinden muss, nicht unter Ausscheidung von Sauerstoff, sondern von *Kohlensäure* vor sich geht, da in diesem letzteren Fall eine solche Kraftquelle im allgemeinen entbehrlich ist. Wir haben uns daher die Entstehung der Proteïnstoffe ungefähr nach folgender Gleichung vor sich gehend zu denken, wobei wir wieder von einem beliebigen Kohlenhydrat von der Zusammensetzung der Glycose ausgehen:

$$C_{25}H_{50}O_{25} + 6\,NH_3 = 2\,C_{12}H_{19}N_3O_4 + 15\,H_2O + CO_2\,^{*})$$

Wenn aber statt Ammoniak Stickstoff oder gar Salpetersäure zur Bildung der Proteïnstoffe herangezogen werden sollte, so müsste natürlich eine viel bedeutendere Reduktion stattfinden, resp. relativ viel bedeutendere Mengen von Kohlensäure austreten. Dasselbe ist der Fall, wenn wir statt der Kohlensäure als sauerstoffreiches Spaltungsprodukt die Oxalsäure, wofür der mikroskopische Befund in manchen Fällen spricht, entstehen lassen**).

Durch die vorausgehende Betrachtung wird ersichtlich, dass die Proteïnstoffe ihrer Zusammensetzung nach, wenn wir ihren Stickstoffgehalt vernachlässigen, d. h. also ihrem relativen Gehalt von Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff nach, sich der Fettgruppe nähern, wie auch aus der Stellung dieser Stoffe auf der ihrer Anordnung nach schon besprochenen Tafel I. hervorgeht. Für ihre Entstehung aus Kohlenhydraten, aus denen sie hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehalts direkt oder indirekt

*) Oder auf Kosten von Salpetersäure nach der Gleichung:

$$C_{37}H_{74}O_{37} + 6\,HNO_3 = 2\,C_{12}H_{19}N_3O_4 + 21\,H_2O + 13\,CO_2.$$

Bei der Voraussetzung, dass etwa Stickstoff das betreffende Rohmaterial sein könne, liegt die Menge zu entwickelnder Kohlensäure natürlich zwischen diesen beiden Extremen.

**) Vergl. Strassburger a. a. O.

abgeleitet werden müssen, konnte deshalb etwas Ähnliches gesagt werden, wie für die Entstehung der Fette seiner Zeit ausgesagt wurde*).

Wir haben schon früher bei der Betrachtung der Stoffumwandlungen auf die Beziehung dieser Vorgänge zur Atmung aufmerksam gemacht und können nun hinzufügen, dass die Entstehung der Proteïnstoffe aus den Kohlenhydraten, unter Zuhilfenahme von gewissen stickstoffhaltigen anorganischen Körpern, auch wie die Entstehung der Fette mit einer vorwiegenden Kohlensäureausgabe (vielleicht auch mit der Ausgabe einer andern hochoxydierten Kohlenstoffverbindung) verknüpft sein muss, und hierin liegt ein weiterer, vielleicht einst zu verwertender Fingerzeig für die richtige Deutung einzelner Atmungserscheinungen.

In innigem Zusammenhange mit den eben gemachten Erläuterungen über die Stellung der Proteïnstoffe unter den organischen Substanzen stehen die in der Tierphysiologie gezogenen Schlüsse über die Rolle jener Stoffe bei der tierischen Ernährung. Man hat guten Grund, anzunehmen, dass die Fettbildung im Tierkörper häufig auf Kosten der Proteïnstoffe vor sich geht, während man früher die stickstofffreien Kohlenhydrate als Verbindungen derselben drei Elemente allein für dieselbe in Anspruch nahm und diese sogar ausschliesslich mit dem Namen von Fettbildnern belegte, ohne zu bedenken, dass diese zu diesem Zwecke erst stark reduziert werden müssen, während das stickstofffreie Spaltungsprodukt der Proteïnstoffe schon eine den wirklichen Fetten sich annähernde Armut an Sauerstoff besitzt.

Ehe wir näher auf die einzelnen in den Pflanzen vorkommenden stickstoffhaltigen organischen Substanzen und besonders die Proteïnkörper eingehen, wollen wir nun die Frage zu entscheiden suchen, aus welchem stickstoffhaltigen Rohmaterial die Bildung dieser Stoffe in den Pflanzen erfolgt, ob Ammoniak, freier Stickstoff oder Salpetersäure in die organischen Verbindungen der Pflanze eingeht und darum Nahrungsmittel der Pflanze sind. — Es ist dies eine Frage, die jahrzehntelang aufs lebhafteste debattiert wurde, viele Köpfe in Bewegung setzte und zum Teil mit grossartigen Mitteln experimentell bearbeitet worden ist — anfangs unter Förderung geradezu entgegengesetzter Resultate. Es ist kaum nötig hervorzuheben, welche Bedeutung die Entscheidung dieser Frage auch für die landwirtschaftliche Praxis haben musste, da Stickstoff eines der Pflanzennahrungsmittel ist, die wir bei der Pflanzenkultur künstlich zuzuführen pflegen und das oft den hauptsächlichen wirtschaftlichen Wert einer gegebenen Düngung repräsentiert**).

Es möge mir hier bei der bedeutenden Wichtigkeit der aufgeworfenen Frage und wegen der Vorteile, welche diese Behandlungsweise bietet, wieder gestattet sein,

*) Es ist natürlich selbstverständlich, dass man einstweilen mit beinahe derselben Berechtigung die Proteïnstoffe aus den Fetten der Pflanze entstehen lassen kann, wie aus den Kohlenhydraten, aber dann ist eben der notwendige Reduktionsprozess nur an eine andere Stelle verlegt, nicht umgangen, und unsere Betrachtung hatte keinen weiteren Zweck, als die Stellung der Proteïnstoffe zu den ursprünglichen Assimilationsprodukten der chlorophyllhaltigen Zelle zu bezeichnen.

**) Gegenwärtig kostet Stickstoff beinahe dreimal so viel als Phosphorsäure, der im übrigen teuerste Bestandteil der Düngemittel.

etwas näher auf die historische Entwickelung unserer Anschauungen über die Art, wie die Pflanze ihren Stickstoff assimiliert, einzugehen.

Wenn wir zunächst, ehe wir von den Resultaten der experimentellen Forschungen sprechen, das Vorkommen des Stickstoffs in der Natur berücksichtigen und uns vorstellen, dass unsere atmosphärische Luft zu vier Fünfteilen aus freiem Stickstoff besteht, und ferner die Thatsache erwägen, dass sonstige Stickstoffverbindungen nur in sehr geringen Mengen in den Medien enthalten sind, in denen die Pflanze vegetiert (also in Boden, Wasser und Atmosphäre), so ist man geneigt, anzunehmen, dass der *freie Stickstoff* der Atmosphäre die Quelle sein möchte für diesen Bestandteil der stickstoffhaltigen organischen Stoffe, welche sich fort und fort in den Pflanzen neu erzeugen.

Wenn man jedoch die Sachlage etwas näher ins Auge fasst und bedenkt, mit wie grosser Schwierigkeit der freie Stickstoff in Verbindungen eingeht, dass er an sich so ziemlich das indifferenteste aller Elemente ist, dass ferner bei einem so grossen Vorrat an Stickstoff für die Pflanze niemals Mangel an diesem Nährstoffe eintreten könnte, diese aber, wie auch schon aus der Zusammensetzung unserer gebräuchlichsten Dünger hervorgeht, thatsächlich in vielen Fällen äusserst dankbar ist für eine Stickstoffzufuhr, dann beginnt man wieder stark zu zweifeln an dem Resultate der Entscheidung, das man zuerst ziehen zu müssen geglaubt hat. — Kurz, man kann hier Erwägungen in den verschiedensten Richtungen machen, ohne a priori zu einem sichern oder auch nur wahrscheinlichen Resultate zu gelangen. Man konnte daher seiner Zeit ohne Voreingenommenheit an die experimentelle Bearbeitung der uns beschäftigenden Frage gehen und deren Beantwortung versuchen, und wir werden nun zu sehen haben, welche Resultate zuerst auf diese Weise zu Tage gefördert wurden.

Die ersten Versuche, welche zur Entscheidung der bezeichneten Lage angestellt worden sind, haben wenig Bedeutung für den Gang der experimentellen Beweisführung; dieselben sind von Priestley und Ingen-Housz gegen Ende des vorigen Jahrhunderts ausgeführt worden und sind eigentlich nur gelegentliche Beobachtungen, aus denen viel zu weit gehende Schlüsse gemacht wurden. Beide Forscher wollten beobachtet haben, dass lebende Pflanzen, in einen Rezipienten mit atmosphärischer Luft gebracht, nicht unwesentliche Mengen des Stickstoffs dieser Luft zu assimilieren vermöchten. — Es braucht auf diese Beobachtungen nicht weiter eingegangen zu werden, da die betreffenden Thatsachen schon im Jahre 1804 von de Saussure experimentell widerlegt worden sind*).

Der erste, der die experimentelle Bearbeitung der Frage nach der Assimilation des freien Stickstoffs *mit ausreichenden Mitteln* in die Hand nahm, war Boussingault. — Dieser verliess die für den vorliegenden Zweck ziemlich unbrauchbare eudiometrische Methode und fing an, die relativ viel erheblicheren Stickstoffzuwächse in der Pflanze selbst analytisch zu bestimmen, anstatt, wie dies früher geschehen war, die Stickstoffverluste der umgebenden Atmosphäre. Hierzu war jedoch eine Reihe von Vorsichtsmaassregeln unerlässlich. Es musste einmal der Pflanze durch-

*) De Saussure: Recherches s. l. végétation, p. 206.

aus unmöglich gemacht werden, ihren Stickstoffgehalt auf irgend eine andere Weise als durch den freien Stickstoff der Atmosphäre zu vermehren, und, da die gewöhnliche humose Acker- oder Gartenerde jederzeit Stickstoffverbindungen enthält, ein stickstofffreier Nährboden hergestellt werden. Durch die Zerstörung der humosen Bestandteile der Ackererde raubt man aber nun der Pflanze eine Reihe anderer nicht unwichtiger Vegetationsbedingungen, so dass es schon deshalb schwieriger ist, eine Pflanze in einem rein mineralischen Boden fortzubringen. Doch wurden von Boussingault diese Schwierigkeiten bald überwunden.

Weitere Schwierigkeiten lagen in dem Gehalt der Atmosphäre an gebundenem Stickstoff, ammoniak- und salpetersauren Verbindungen; diese Verunreinigungen hatten in den ersten Versuchen von Boussingault keine genügende Berücksichtigung erfahren. So kam es, dass derselbe bei manchen Pflanzen: Klee und Erbsen, trotz des Ausschlusses einer Stickstoffquelle im Boden, dennoch Stickstoffzuwächse nachweisen konnte, während allerdings bei anderen Pflanzen zweifelhafte Zuwächse oder stete Verluste eintraten*). Wenigstens hat man bis zum Jahre 1886 die ausnahmsweise positiven Resultate ausschliesslich diesem Umstande zugeschrieben.

In Boussingault's späteren Versuchen, die vom Jahre 1851 bis 1854 angestellt wurden, ist auch diese zweite Fehlerquelle völlig vermieden worden, indem derselbe von dieser Zeit an nicht bloss die betreffenden Pflanzen in stickstofffreien Nährböden, Sand und Bimssteinpulver mit Asche von Stalldünger, oder auch in Nährböden von genau bekanntem Stickstoffgehalt erzog, sondern denselben auch nur eine Atmosphäre zuführte, die aller ammoniak- und salpetersauren Verbindungen mittelst Durchleiten durch Schwefelsäure etc. beraubt war. Die Zusammenstellung des benutzten Apparats war so einfach und selbstverständlich, dass ich nichts weiter anzugeben brauche, als dass die betreffende Pflanze sich samt dem Topf, in den sie gesetzt war, in einem nach aussen hin wohl geschlossenen Glaskasten befand und entweder die gereinigte Luft und die Kohlensäure durch Zuleitungsröhren empfing, oder auch in einem abgegrenzten Luftvolum vegetierte.

Von den Resultaten, die Boussingault nach diesem verbesserten Verfahren erhielt, sind einige in der vorliegenden Tabelle verzeichnet. Aus denselben kann ersehen werden, welch bestimmte Antwort auf die gestellte Frage durch die Versuche erlangt worden war.

Samen	Versuchs-Dauer	Gewicht der Aussaat	Gewicht der Ernte	Stickstoff der Aussaat	Stickstoff der Ernte	Stickstoff-Differenz
Bohne	2 Monate	0,780 gr	1,87 gr	0,0349 gr	0,0340 gr	— 0,0009 gr
Bohne	2 „	0,792 „	2,35 „	0,0354 „	0,0360 „	+ 0,0006 „
Bohne	2 1/2 „	0,665 „	2,80 „	0,0298 „	0,0277 „	— 0,0021 „
Hafer	2 „	0,377 „	0,54 „	0,0078 „	0,0067 „	— 0,0011 „
Hafer	2 1/2 „	0,139 „	0,44 „	0,0031 „	0,0030 „	— 0,0001 „

Man sieht, dass in der Ernte meistens ein kleiner Verlust an Stickstoff konstatiert werden konnte oder dass der Zuwachs, wie bei dem zweiten Versuch mit

*) Vergl. die Zusammenstellung aller dahin gerichteter Untersuchungen in Boussingault: Agronomie etc., 1860, I, p. 6—154.

den Bohnen so ausserordentlich gering (in diesem Fall 6 Decimilligramme) war, dass er als ins Bereich der Versuchsfehler*) fallend angesehen werden darf.

Besonders lehrreich sind auch die Abbildungen des gleichen Experimentators von Pflanzen, welche zwar in freier Luft, aber im übrigen ohne Zufuhr von irgend welchen Stickstoffverbindungen erzogen wurden, und dann vergleichungsweise von solchen, denen unter im übrigen denselben Bedingungen eine Salpeterdüngung gewährt wurde. (Vergl. Fig. 11.)

Was Boussingault aus diesen Resultaten schloss und schliessen konnte, liegt auf der Hand. Obgleich sich die Trockensubstanz der Versuchspflanzen ansehnlich vermehrt hatte, also Produktion von organischer Substanz mit Hilfe der grünen Organe der Pflanze stattgefunden hatte, und trotz dem Vorhandensein grosser Mengen von freiem Stickstoff in dem Bereich der Pflanze war keine Stickstoffvermehrung in der Pflanze, kein Zuwachs an deren stickstoffhaltiger organischer Substanz 'eingetreten. Die Pflanzen waren also in dem Stadium, in dem sie sich befanden, sicherlich unfähig gewesen, den freien Stickstoff zu assimilieren, und Boussingault machte den Schluss, dass bei der Entwickelung der von ihm zu Versuchen benutzten Pflanzen freier Stickstoff nicht aufgenommen werde.

So schien die aufgeworfene Frage durch die vielen Versuche des unermüdlichen Experimentators völlig entschieden zu sein. — In keinem der einzelnen so vielfach modifizierten Versuche war ein unzweideutiger Zuwachs an Stickstoff in der Pflanze nachgewiesen worden; alle im stickstofffreien Boden und in ammoniakfreier Atmosphäre gezogenen Pflanzen waren unfähig, sich über ein gewisses, oft

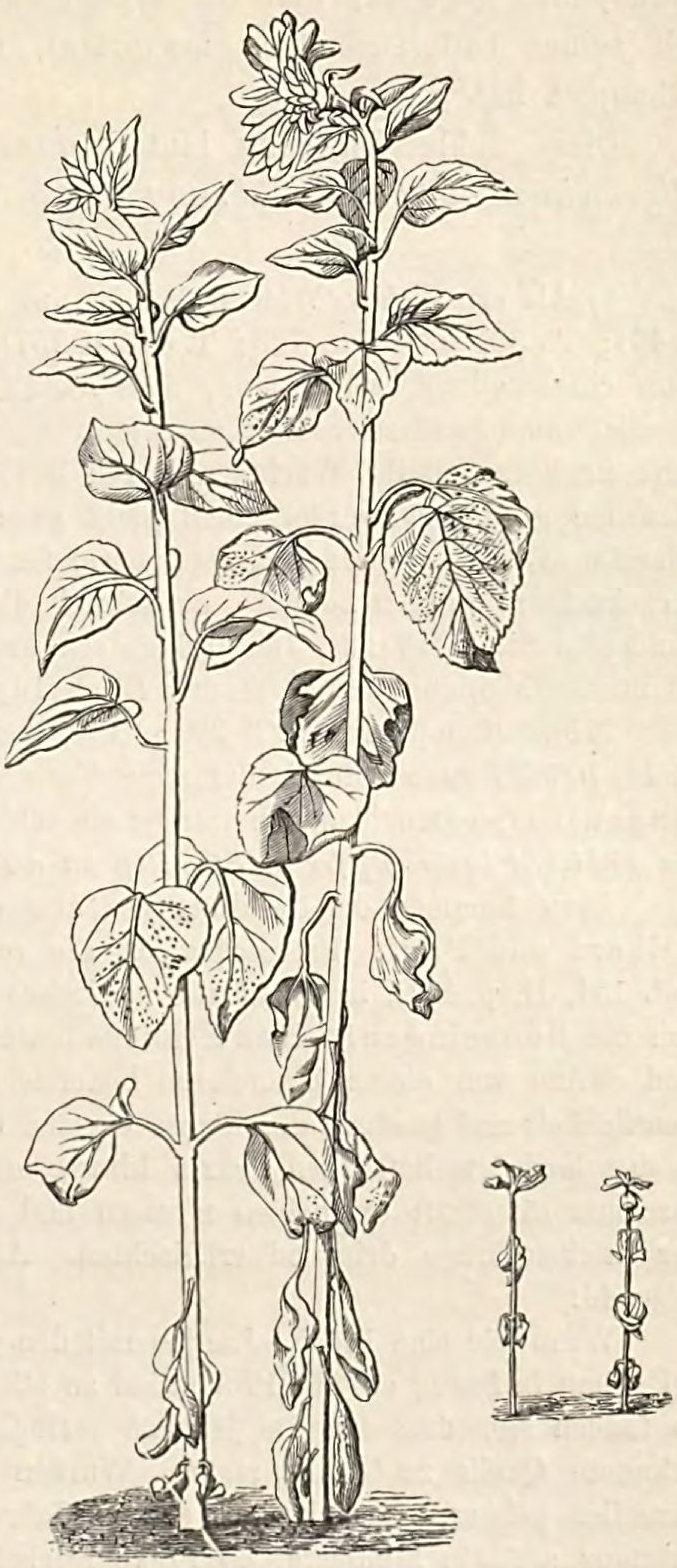


Fig. 11. — Helianthus argophyllus. Die grossen Exemplare bei Salpeterdüngung, die kleinen im Stickstoffhunger, im übrigen unter gleichen Bedingungen kultiviert.

*) Es ist namentlich bei Beurteilung der möglichen Grösse der Versuchsfehler zu berücksichtigen, dass der Stickstoffgehalt der ausgelegten Samen nur durch Analyse einer Durchschnittsprobe festgestellt werden kann und bei der Berechnung des Stickstoffgehalts der Ernte der durch verfaulte Wurzeln etc. in den Boden übergegangene Stickstoff mitbestimmt werden musste.

sehr eng begrenztes Stadium hinaus zu entwickeln, was nur dem Umstand zugeschrieben werden konnte, dass die Pflanzen darauf angewiesen waren, sich ihren Stickstoff in gebundener Form anzueignen.

Durch die Schlussfolgerungen aus den Boussingault'schen Versuchen ist der Standpunkt gegeben, den die Wissenschaft bis zum Jahre 1886, wo Hellriegel mit seinen Untersuchungen hervortrat, mit beinahe vollständiger Übereinstimmung behauptet hat*).

Diese Schlussfolgerung lautet, *dass der freie atmosphärische Stickstoff im allgemeinen nicht als Nahrung der höheren Pflanze dienen kann.*

*) Als ernstlicher Widersacher ist nur zu nennen G. Ville (vergl. Compt. rend., T. 35, p. 464; T. 38, p. 705 u. 723; T. 41, p. 757), welcher bei sehr verschiedenen Methoden der Versuchsanstellung, sei es nun, dass die Pflanzen einem Strom von ungewaschener oder von gänzlich ammoniakfreier Luft ausgesetzt wurden, und ebenso, wenn die Pflanzen in freier Luft wuchsen und ihr Wachstum durch Düngung mit Nitraten oder anderen stickstoffhaltigen Materien gesteigert wurde, einen nicht ganz unerheblichen *Stickstoffzuwachs* der Versuchspflanzen (Tabak, Getreide, Kresse, Klee) fand, der nicht auf den Stickstoffgehalt des Bodens zurückgeführt werden konnte. Er schrieb diesen Gewinn der Assimilation von freiem, unverbundenem Stickstoff zu. Im übrigen schlossen sich alle Experimentatoren und mit ihnen die öffentliche Meinung der Folgerung Boussingault's an.

Mène (Compt. rend., T. 32, p. 180) und später Harting und Gunning (Compt. rend., T. 14, p. 942) kamen durch derartige Versuche zu Resultaten, die völlig mit den von Boussingault erlangten identisch waren; sie schlossen, *dass es nicht erwiesen sei, dass die Pflanzen die Fähigkeit besässen, freien Stickstoff zu assimilieren.*

Dazu kommen die Resultate der ausserordentlich umfangreichen Arbeiten von Lawes, Gilbert und Pugh (Proceedings of the royal Society, 1860; Philosoph. Transact., 1861, Vol. 151, II, p. 431), in denen alle möglichen Einwürfe berücksichtigt wurden und die schliesslich die Boussingault'schen Resultate bestätigten. Die Publikationen der genannten Forscher sind darum von einem besonderen historischen Interesse, weil sie zum erstenmal mit voller Deutlichkeit auf gewisse, durch ihre eigenen Felddüngungsversuche präzisierten Erscheinungen in der landwirtschaftlichen Praxis hinwiesen, die nach den bis dahin bekannten Thatsachen durchaus rätselhaft erscheinen mussten und nach ihrer Ansicht eine nochmalige Erörterung der Stickstofffrage dringend erheischten. Als solche Erscheinungen bezeichneten dieselben folgende:

Wenn sie eine Fläche Landes mit den gewöhnlichen Kulturgewächsen bebauten und dabei genau in Bezug auf die Produktion an stickstoffhaltiger organischer Substanz kontrollierten, so fanden sie, dass für die jährlich verfügbar werdende Stickstoffmenge eine bis dahin unbekannte Quelle zu Gebote stand. Wurden auf einem Felde mehrere Jahre hintereinander Cerealien gebaut, so sank nach einigen Jahren die Produktion an stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz auf ein Minimum, 30 Pfund Stickstoff pro Acre, d. i. 37 kg auf den Hektar herab, auf dem sie dann, ohne weitere Verminderung zu erleiden, verharrte. — Wurden jedoch zwischen die einzelnen Ernten von Cerealien Klee oder Erbsen eingeschoben, so konnten weit grössere Mengen von stickstoffhaltiger Pflanzensubstanz in dem Weizen oder der Gerste, die darauf folgte, geerntet werden, trotzdem der Klee oder die Erbsen selbst sehr grosse Mengen von Stickstoff geliefert hatten. — Diese so durch exakte Feldversuche festgestellte Thatsache, welcher namentlich der Klee und die Lupinen ihre eigentümliche Stellung in der Fruchtfolge verdanken und die erst durch die Hellriegel'schen Versuche endgültig erklärt worden ist, war es, wie wir sehen werden, die immer wieder dazu drängte, die Frage nach der Assimilationsfähigkeit des freien Stickstoffs ins Auge zu fassen.

Das grosse unerschöpfliche Reservoir von Stickstoff in der atmosphärischen Luft, von der dieser vier Fünfteile ausmacht, scheint also als für die Ernährung der Pflanze verloren. — Ehe wir die im Jahre 1886 entdeckte sehr wesentliche und praktisch wichtige Einschränkung dieses Satzes kennen lernen, wollen wir erst einen Blick werfen auf diejenigen Substanzen, welche als die hauptsächlichsten stickstoffhaltigen Nährstoffe der gewöhnlichen grünen Pflanzen gelten können.

Wir haben als mögliche Quellen die Stickstoffverbindungen, zunächst nur die *anorganischen* Stickstoffverbindungen zu berücksichtigen, da die organischen Verbindungen dieses Elements, wenn sie auch teilweise als Nahrungsmittel der Pflanzen dienen mögen, das *einzige* stickstoffhaltige Nahrungsmittel der chlorophyllhaltigen Pflanzenwelt deshalb nicht sein können, weil wir in diesem Reiche eine *dauernde Zunahme und stete Produktion* an solchen Substanzen konstatiert haben. Von solchen anorganischen stickstoffhaltigen Stoffen kommen in der Natur nur einige wenige vor. Es sind dies die bei der Beweisführung der Wertlosigkeit des unverbundenen Stickstoffs für die Pflanze erwähnten Ammoniak- und Salpetersäureverbindungen, gelegentlich auch noch die salpetrigsauren Salze. Es ist einleuchtend, dass man bei dem von Anfang an bestehenden Zweifel an der Assimilierbarkeit des atmosphärischen Stickstoffs auch schon, ehe der experimentelle Nachweis der Nichtassimilierbarkeit gelungen war, die genannten Stoffe als vermutliche Nahrungsmittel der Pflanze ins Auge fasste. Mit voller Bestimmtheit konnte man freilich erst nach Entscheidung jener Frage schliessen, dass mindestens einer jener Stoffe die gesuchte Quelle für die Entstehung der stickstoffhaltigen organischen Substanz sei. — Es handelte sich darum, die experimentelle Bestätigung dieser Vermutungen beizubringen, und namentlich auch zu entscheiden, *welcher jener Stoffe* das gesuchte stickstoffhaltige Nahrungsmittel sei. Im Grunde liess sich a priori nicht viel Stichhaltiges voraussagen.

Wir werden auch hier wieder die experimentelle Beweisführung in chronologischer Ordnung vorzuführen haben, und zwar zuerst für die *Salpetersäureverbindungen*, da für diese Substanzen der Beweis, dass sie als Pflanzennahrungsmittel dienen können, am frühesten beigebracht worden ist, obwohl man sie als solche erst später ins Auge gefasst hat als die Ammoniakverbindungen*).

Dass salpetersaure Salze als Düngemittel vorteilhaft wirken, ist schon in früher Zeit bekannt gewesen. Es liegen Angaben vor, dass in England schon zur Zeit Karl I. Düngungsversuche mit Salpeterlösungen ausgeführt worden seien. In späterer Zeit wurden dann hie und da wieder Versuche mit diesem Düngemittel angestellt, und bei den allgemein günstigen Resultaten, die man erhielt, scheint es nur der hohe Preis des Salpeters gewesen zu sein, der es bis zur neuesten Zeit verhinderte, dass derselbe als Düngemittel grössere Verbreitung erlangte. Erst nach Entdeckung des Chilisalpeters wurden die Preise eines salpetersauren Salzes so niedrig, dass die Landwirtschaft bei Verwendung desselben ihre Rechnung fand; und vom

*) Diese letzteren galten schon sehr frühe, aber ohne strenge Beweisführung für die hauptsächliche Stickstoffquelle der Pflanze; vergl. Hlubek: Beleuchtung d. org. Chem. etc., 1842, p. 52.

Jahre 1831 an scheint diese Verbindung als Düngemittel zunächst in England versuchsweise und dann bald allgemeinere Verwendung gefunden zu haben.

So war, auch bei mässiger praktischer Verwendung eigentlicher Salpeterdüngungen, schon lange Zeit bekannt, *dass salpetersaure Salze das Pflanzenwachstum zu fördern vermögen*, und der Gedanke lag nahe, *in jenen eine Quelle für den Stickstoff der Pflanzen* zu vermuten, namentlich da auch seit langer Zeit Vorgänge im Boden bekannt waren, bei denen salpetersaure Verbindungen sich bilden. Ich erinnere nur an die älteren Methoden der Salpetergewinnung in den sogenannten Salpeterplantagen, wo geradezu vermittelst derselben Erde, wie sie auf unsern Feldern liegt, vorausgesetzt dass sie genügende Mengen von Kalk oder anderen alkalischen Substanzen und ausserdem verwesende stickstoffhaltige organische Stoffe, vorzüglich tierische Abfälle, enthält, salpetersaure Salze erzeugt werden. Man brauchte nur an diese bekannten Vorgänge zu denken, um sich bewusst zu werden, dass auch in der gewöhnlichen Ackererde gar oft Salpeterbildung stattfinden müsse, da in derselben regelmässig alle jene Bedingungen hierzu, als da sind: Porosität, Anwesenheit von Kalk und stickstoffhaltigen verwesenden Stoffen und Sauerstoffzutritt, vereinigt vorkommen, und man sich ja gerade in den gewöhnlichen Methoden der Düngung unbewusst stets von neuem bemühte, durch Zufuhr stickstoffhaltiger organischer Stoffe die Bedingungen wiederherzustellen.

Trotzdem nun durch dieses Verhältnis auf die wahrscheinliche Bedeutung der Salpetersäure als direkten Pflanzennährstoffs hingedeutet wurde, so war es doch wohl hauptsächlich auf die Autorität Liebigs*) hin längere Zeit fast lediglich das Ammoniak, dem man in seinen Verbindungen die ausschliessliche Fähigkeit zuschrieb, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen.

Eine strenge Beweisführung dafür, dass die salpetersauren Salze fähig sind, die Pflanze mit Stickstoff zu versorgen, war natürlich nur durch Vegetationsversuche, bei welchen die gewöhnliche Erde mit ihrem Reichtum an organischen stickstoffhaltigen Stoffen völlig ausgeschlossen war, möglich. Eine solche Beweisführung wurde mit genügender Strenge erst von Boussingault**) für Pflanzen, die er in ausgeglühtem Sande zog, und von Knop***) vermittelst der Wasserkulturmethode beigebracht. Doch führen auch die Arbeiten vieler anderer, namentlich von Ville†),

*) Nach Liebig war es ausschliesslich das NH_3 der Luft, welches den Pflanzen N lieferte. Vergl. Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung etc., 1840, p. 64—84; dagegen auch Hlubek: a. a. O. p. 57 u. f. Kuhlmann (Annal. Chim. et Phys., T. 20, p. 223. Über Reduktion von Salpetersäure in der Ackererde vergl. auch Schlösing: Compt. rend., 1873, Juillet, Août) ging sogar so weit, seine Augen zu schliessen und die von ihm in Düngungsversuchen wohl beobachtete Wirksamkeit der salpetersauren Salze auf deren Reduktion zu Ammoniak im Boden zurückzuführen, eine Auffassung, deren Unrichtigkeit später von Boussingault (Agronomie etc., 1860, I, p. 161 u. f. Vergl. auch Fig. 7, p. 160) und auch von Grouven (Agronomische Zeitung, 1857, p. 761) zur Genüge dargelegt worden ist.

**) Boussingault: a. a. O. p. 163—191.

***) Landw. Versuchsst., 1860, B. II, p. 73.

†) Compt. rend., T. 41, p. 938 u. 987, und T. 43, p. 85, 612 u. 832.

Salm-Horstmar*), Stohmann**), Rautenberg und G. Kühn***) zu demselben Resultate. Boussingault zog Sonnenblumen und Kresse aus dem Samen in einem Boden, der nur aus anorganischen Substanzen bestand und von Stickstoffverbindungen bloss Salpeter enthielt, unter Vervielfachung des Stickstoffs des Samens bis zu mehr als dem Fünfzigfachen des ursprünglichen Gehalts, während sonst gleich behandelte Pflanzen, die in salpeterfreiem Boden †) wuchsen, nur ganz unwesentliche Stickstoffvermehrung zeigten.

Knop gelang es, vermittelst der „Wasserkulturmethode“, einer Methode, der man sich in neuerer Zeit häufig bedient, um Pflanzen unter genauer Kontrolle ihrer Stoffaufnahme zu erziehen, und die einfach darin besteht, dass man die Wurzeln der Pflanzen von der Keimung an, anstatt in einem bodenähnlichen porösen Gemische fester Teilchen, das nur mit Flüssigkeit getränkt ist, in wässrigen Lösungen ††) sich entwickeln lässt, genau dasselbe zu erweisen und Pflanzen in rein anorganischen Lösungen, in denen von stickstoffhaltigen Verbindungen nur salpetersaure Salze vorhanden waren, fast völlig normal, also selbstverständlich unter Vervielfachung des ursprünglichen Stickstoffgehalts zu erziehen.

Derartige Versuche sind ausserdem später häufig wiederholt worden, und es ist durch dieselben immer wieder von neuem der Beweis geliefert worden, dass die Salpetersäure wohl im stande ist, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen, ja dass sie in den meisten Fällen *als alleinige Stickstoffquelle* dienen kann, da ohne Zufuhr irgend einer anderen stickstoffhaltigen Substanz eine völlig normale Entwickelung an den Pflanzen beobachtet wurde. Wenn die grünen Pflanzen in einem rein anorganischen Boden, der von Stickstoffverbindungen nur salpetersaure Salze enthält, häufig nicht so üppig gedeihen als in einem Boden, der verwesende organische Stoffe enthält, so liegt dies sicher *nicht* an dem Bedürfnis dieser Pflanzen nach stickstoffhaltigen organischen Stoffen, sondern an andern Vorteilen, die ein solcher Boden den Pflanzen darzubieten vermag, Lockerheit und dergleichen, und die wir in einem anorganischen Boden oder einer Lösung nicht so nachzuahmen verstehen.

Der eben ausgesprochene Satz, der für die höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen völlig sicher dasteht, gilt jedoch *nicht für die gesamte Pflanzenwelt.* Überhaupt muss man sich in Bezug auf die Stickstoffaufnahme der Organismen sehr vor übereilten Verallgemeinerungen hüten. Ob die chlorophylllosen Phanerogamen, deren es eine kleine Anzahl giebt, bezüglich der Assimilation ihres Stickstoffbedarfs sich ihren chlorophyllhaltigen Verwandten zur Seite stellen oder ob sie darauf angewiesen sind, neben schon vorgebildeter organischer stickstofffreier Substanz auch organische

*) Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen, 1856, p. 26 ff.

**) Hennebergs Journal, 1864, p. 65.

***) „ „ „ p. 107.

†) Dieser Boden wurde, um den Versuchen die volle Beweiskraft der Differenzmethode zu geben, in einzelnen Fällen (a. a. O. p. 199—222) so hergestellt, dass z. B. das Kali des Salpeters demselben in den gleichen Verhältnissen einverleibt wurde, denn sonst hätte man ja dem Ausschluss dieser Bestandteile den beobachteten Effekt beimessen können.

††) Es wird von dieser Wasserkulturmethode, die für die experimentelle Erforschung der Pflanzenernährung von hoher Bedeutung ist, noch ausführlicher in Vorlesung 16 die Rede sein.

stickstoffhaltige Substanz in sich aufzunehmen, darüber ist wegen mangelnder Ernährungsstudien an diesen Organismen noch nichts bekannt.

Dagegen haben wir, dank den Arbeiten Pasteur's und mehrerer anderer, einige Kenntnisse von der Art der Stickstoffassimilation einiger weit verbreiteten kryptogamen chlorophyllfreien Pflanzen. Für gemeine Schimmelpilze ist von Pasteur*) gezeigt worden, dass sie bloss der Zufuhr organischer stickstofffreier Materie bedürfen, während sie ihren Stickstoffbedarf aus Ammoniak- sowohl wie aus Salpetersäureverbindungen zu schöpfen vermögen. — Aber es wäre fehlerhaft, das Resultat dieser Erfahrung auf eine grössere Klasse von Organismen oder auch nur auf alle Pilze auszudehnen; denn es ist bewiesen worden, dass ein Hefepilz (Saccharomyces cerevisiae) sich wohl spärlich auf Kosten von Ammoniakverbindungen zu ernähren vermag, aber durchaus *unfähig* ist, sich mit Salpetersäureverbindungen fortzubringen**).

Die Möglichkeit der Ernährung durch Salpetersäure, für die höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen***) mit aller Bestimmtheit nachgewiesen, ist also nicht für *alle pflanzlichen Organismen* vorhanden, sondern es giebt nachgewiesenermaassen solche, die sich, soweit es sich wenigstens um anorganische Stickstoffverbindungen handelt, nur auf Kosten von Ammoniak, besser aber von gewissen organischen Stickstoffverbindungen zu ernähren vermögen. Wir erwähnen dies, abschweifend von unserer eigentlichen Betrachtung der Ernährung der chlorophyllführenden Organismen, um uns vor unzulässigen Verallgemeinerungen zu hüten, welche um so unberechtigter sind, als sich theoretisch noch nichts auch nur über die Wahrscheinlichkeit der einen oder der andern Art der Ernährung für irgend eine neue Organismengruppe voraussagen lässt.

Nachdem wir zu dem Resultate gelangt sind, dass *salpetersaure Salze ein zweckdienliches stickstoffhaltiges Nahrungsmittel* der höheren chlorophyllführenden Pflanze darstellen, drängt sich uns die Frage auf, *welche salpetersauren Salze* es denn sind, die die Pflanze mit Stickstoff zu versorgen vermögen? — Wir sind im stande, diese Frage kurz dahin zu beantworten, dass die Salpetersäure in Verbindung mit allen denjenigen anorganischen Basen aufgenommen werden kann, die entweder als solche unentbehrlich für die Pflanzen oder sonst aus irgend welchen später zu erörternden Gründen regelmässige Bestandteile derselben sind, d. h. also in Form von salpetersaurem Kalk, Kali, Magnesia, Natron, Ammoniak und wahrscheinlich auch als salpetersaures Eisen; ferner auch als Verbindung mit einer jener wenigen organischen Substanzen von basischen Eigenschaften, die von den in Rede stehenden Pflanzen ertragen werden. Kurz, man kann sagen — und dies ist ein Satz, dessen Analoga von ziemlich allgemeiner Gültigkeit für die Pflanzenernährung sind, dass der Nährstoff Salpetersäure *in Verbindung mit beliebigen basischen*

*) Annal. Chim. et Phys., III. Série, T. 64, p. 107 Note.

**) Adolf Mayer: Untersuchungen über die alkoholische Gärung etc., 1869, p. 67—69.

***) Für niedere chlorophyllhaltige Pflanzen (Algen) ist durch Bineau (Mémoires de l'Académie des Sciences à Lyon, T. III, p. 853) bewiesen, dass sie sich sowohl auf Kosten von Ammoniak- als von Salpetersäureverbindungen zu ernähren vermögen.

Stoffen, wenn diese nur an sich für die Pflanze unschädlich sind, von derselben aufgenommen werden könne; und gerade in dem durch diesen Satz ausgedrückten Verhalten liegt offenbar der Grund, dass man nicht von jedem der möglicherweise von der Pflanze aufgenommenen Salze als einem Nährstoff derselben spricht, sondern die Säuren und die Basen selber, obgleich diese selbstverständlich selten oder niemals im ungebundenen Zustande aufgenommen werden, als Nährstoffe bezeichnet. Die ungenauere Ausdrucksweise hat hier den Vorteil einer Verallgemeinerung, die keine wesentlichen Ausnahmen erleidet.

Von den eigentlichen Aufnahmegesetzen der einzelnen Pflanzennährstoffe und damit der Salpetersäure wollen wir in einem späteren Kapitel sprechen*). Hier will ich nur bemerken, dass dieselbe nicht etwa wie die Kohlensäure grossenteils durch die oberirdischen Organe, sondern lediglich durch die Wurzeln erfolgen muss, da die genannten Salpetersäureverbindungen samt und sonders bei gewöhnlicher Temperatur keine erhebliche Flüchtigkeit besitzen. Eigentlich genügt uns aber vor der Hand bei Abhandlung der einzelnen Nährstoffe zu wissen, dass sie sich in irgend einer Form in den Medien befinden, mit denen die Pflanze in Berührung kommt, da die Art und Weise des Übergangs der Nährstoffe in die Pflanze einer viel allgemeineren Behandlung fähig ist und nicht für jeden einzelnen Stoff besprochen zu werden braucht.

Zwölfte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen (Fortsetzung). — Andere stickstoffhaltige Nährstoffe. — Der Begriff des gebundenen Stickstoffs.

Nachdem wir in der vorigen Vorlesung als hauptsächlichen stickstoffhaltigen Nährstoff der höheren Pflanze die Salpetersäure erkannt haben, gehen wir nun weiter und fragen: *Ist die Salpetersäure die einzige Stickstoffverbindung, welche die höhere chlorophyllgrüne Pflanze zur Befriedigung ihres Bedarfs an Stickstoff in sich aufnimmt?*

So entschieden diese Frage bei dem Beginn der Erörterung über die Art der Stickstoffaufnahme verneint, so entschieden gerade das Ammoniak von vornherein als das vorzüglichste stickstoffhaltige Nahrungsmittel der höheren Pflanze betrachtet worden war, so sind doch später Stimmen laut geworden, die sich anschickten, dieselbe ganz entschieden zu bejahen. Diese Anschauung wurde z. T. gestützt auf Vegetationsversuche, z. T. auch auf den Analogieschluss, dass, da die (höhere chlorophyllführende) Pflanze überhaupt von „vollkommen verbrannten Körpern“ lebe, dies auch in Bezug auf den Stickstoff der Fall sein werde.

*) Ein- bis dreiundzwanzigste Vorlesung.

Wir haben bei dieser Sachlage die Beweise, wenn es solche giebt, dafür hervorzusuchen, dass auch andere stickstoffhaltige Körper ausser den salpetersauren Verbindungen die Pflanzen direkt mit Stickstoff zu versorgen vermögen. Die Thatsache, dass ammoniakalische Dünger häufig ausgezeichnete Wirkung zeigen, ist wegen des möglichen Einwurfs, dass vorher Übergang in Salpetersäure stattfinde, nicht streng beweisend. Es handelt sich daher um die Beweisführung durch den direkten Vegetationsversuch. Als solcher mag, soweit es sich um Aufnahme der Ammoniaksalze durch die Wurzel handelt, der Versuch von Ville*) vom Jahre 1856 gelten, welcher Weizenpflanzen in ausgeglühtem Sande zog, dem die notwendigen Aschenbestandteile und ausserdem stickstoffhaltige Substanz lediglich in Form von Ammoniaksalzen zugesetzt waren. Bei einer derartigen Bodenmischung war offenbar wenig Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass die Ammoniakverbindungen in salpetersaure Salze übergehen konnten, ein Einwurf, dessen Möglichkeit alle erfolgreichen Düngungsversuche mit Ammoniakverbindungen im freien Felde oder in einer gewöhnlichen Bodenmischung, wo die Bedingungen der Salpeterbildung fast immer vorhanden zu sein scheinen, ihrer Beweiskraft berauben. Der Ville'sche Versuch lehrt nun in der That, dass Salmiak, salpetersaures Ammoniak und phosphorsaures Ammoniak die Fähigkeit besitzen, ansehnliche Stickstoffzuwächse bei den Pflanzen gegenüber denen, die keine Stickstoffernährung empfangen hatten, zu bewirken. Während der Stickstoff einer Weizenpflanze, die ohne Stickstoffzufuhr gewachsen war, 0,058 gr im Mittel betrug, zeigten die in der ammoniaksalzhaltigen Erde im Mittel einen Stickstoffgehalt von 0,136 gr. Das Plus von 0,78 gr pro Pflanze ist hier nur infolge der Assimilation von Ammoniakverbindungen zu erklären. Ähnliche Resultate sind mittelst der Wasserkultur später von G. Kühn und Hampe**) und anderen erlangt worden***). — Was nun das üppige Gedeihen solcher mit Ammoniakverbindungen ernährter Pflanzen betrifft, so steht es hiermit in vielen Fällen nicht ganz so wohl†) als mit dem Fortkommen von Pflanzen, die ihren Stickstoff lediglich in Form von salpetersauren Salzen empfangen. Doch verhalten sich, wie wir alsbald sehen werden, verschiedene Pflanzenarten in dieser Beziehung merklich verschieden. Wir werden dieses Verhalten später zu weiteren Schlüssen benutzen.

*) Compt. rend., T. 43, p. 612.

**) Landw. Versuchsst., 1867, p. 157 und 167.

***) Indessen muss zugestanden werden, dass, namentlich auch angesichts der späteren Erfahrungen über die Salpetererzeugung in Lösungen unter dem Einflusse von Bakterien, alle diese Versuche die Thatsache einer direkten Ammoniakassimilation nur bis zu einer gewissen Wahrscheinlichkeit erhoben und nicht erschöpfend beweisen, und zwar deshalb nicht, weil in der Regel bei derartigen Kulturen ganz geringe Spuren von Salpetersäure in der Nährstofflösung nachweisbar sind und also die Vermutung immerhin erlaubt ist, dass nur in dem Maasse der Bildung von Salpetersäure Stickstoffernährung stattfinde, wobei das Fehlen einer erheblichen Anhäufung durchaus nichts Merkwürdiges wäre. Die Beobachtungen einiger Experimentatoren stimmen sehr auffallend mit dieser Auffassung. Vergl. namentlich A. Beyer: Landw. Versuchsst., 1867, p. 480. Doch haben neuere Versuche mit sorgfältig sterilisiertem Boden (Pitsch: Landw. Versuchsst., 1887, p. 222; und Müntz: Journ. d'agricult. pratique, 1889, p. 671) die alten Resultate genügend bestätigt.

†) Ebenda: Birner und Lucanus, 1866, p. 148.

Noch sicherer wie durch die angeführten Versuche, weil sie der Gefahr einer schwer kontrollierbaren Nitrifikation des verabreichten Nährstoffs im Boden nicht ausgesetzt sind, kann auch die Möglichkeit der Ammoniakassimilation durch jene Versuche demonstriert werden, welche sich die Ammoniakaufnahme durch oberirdische Pflanzenteile nachzuweisen vorgesetzt hatten. Es ist hier nicht der Ort, von diesen Versuchen eingehend zu reden. Es genügt uns an dieser Stelle zu wissen, dass auch hier dieser Modus der Assimilation für sehr verschiedenartige höhere Gewächse erwiesen worden ist, gleichviel, ob derselbe als praktisch bedeutend erscheint oder nicht.

Um eine greifbare Zahl über einen unter diesen Umständen erlangten Stickstofferwerb anzuführen, sei eines meiner Versuche*) mit jungen Weizenpflanzen Erwähnung gethan, wobei die oberirdischen von den Wurzeln luftdicht abgeschlossenen Pflanzenteile durch Bestreichen mit Lösungen von kohlensaurem Ammoniak mit Stickstoff ernährt wurden.

	Trockensubstanz, darin	Stickstoff
Die ursprünglichen Samen hatten:	0,043 gr	0,0011 gr
eine geerntete Pflanze ohne Bepinselung mit Ammoniak enthielt	0,104 „	0,0020 „
eine Pflanze mit Ammoniak bestrichen	0,324 „	0,0130 „.

Die letztere Pflanze zeigte also nicht nur einen Stickstoffgehalt, welcher den der Pflanze im Stickstoffhunger um das Vielfache überstieg, sondern sie hatte auch die Fähigkeit, einige Decigramme Trockensubstanz mehr zu produzieren, durch die reichere Stickstoffernährung erhalten. Die gleiche Beweisführung wurde noch für eine Reihe von andern Pflanzen erbracht, und einmal bei Kohlrabipflänzchen der Differenzversuch so streng durchgeführt, dass selbst die beiden zu vergleichenden Pflanzen mit den Wurzeln in eine gemeinschaftliche Nährlösung tauchten.

So sind wir auf verschiedenem Wege zu dem gleichlautenden Schlusse gelangt, *dass das Ammoniak ebenso wie die Salpetersäure ein Nahrungsmittel der von uns besprochenen Pflanzen ist*, und es bleibt zunächst nur noch über die Form dieser Aufnahme einiges zu sagen.

Verschiedene Vegetationsversuche mit Ammoniaksalzen, z. B. die erwähnten von Ville, beweisen, dass das Chlorammonium, das schwefelsaure, salpetersaure und phosphorsaure Ammoniak ungefähr in gleichem Maasse befähigt sind, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen — und dies entspricht dem, was wir am Schlusse der vorigen Vorlesung ganz allgemein für die Art der Stoffaufnahme ausgesprochen haben — dass dagegen das kohlensaure Ammoniak auch in sehr verdünnten Lösungen von der Pflanzenwurzel nicht ertragen wird, da sich hier die alkalischen Eigenschaften des genannten Salzes schädigend geltend machen. — Von den oberirdischen Pflanzenteilen wird dagegen sogar freies Ammoniak, aber freilich nur in sehr grosser Verdünnung, vortrefflich vertragen, vermutlich weil hier eine Abstumpfung der alkalischen Reaktion durch vorhandene Pflanzensäuren genügend rasch erfolgen kann. Es ist dies ein Verhalten, das wohl zu beachten ist.

*) Landw. Versuchsst., B. 17, 329.

Endlich besitzen wir einige experimentelle Anhaltspunkte dafür — Thatsachen, die besonders für eine Theorie des speziellen Pflanzenbaues zu verwerten sein werden — dass einzelne Pflanzen, wie z. B. der Buchweizen, die Kartoffeln, Rüben, Lupinen, die Salpetersäure, andere, wie Mais und die übrigen Gramineen, vermutlich auch die Brassicaarten und die Zwiebeln, endlich sehr sicher die Waldbäume*) und die Moorpflanzen das Ammoniak als Stickstoffnahrung ebensogut gebrauchen können und dass auch manchmal innerhalb des Vegetationsverlaufs einer und derselben Pflanze solche Verschiedenheiten hervortreten.

Nachdem wir nun die hauptsächliche Stickstoffernährung der grünen Gewächse kennen gelernt haben, bleibt uns nur noch zu untersuchen übrig, ob und unter welchen Umständen *stickstoffhaltige organische Stoffe von den Pflanzen aufgenommen und verwertet werden können.*

Als man seiner Zeit erkannt hatte, dass die höhere chlorophyllhaltige Pflanze *wesentlich* von anorganischen Stoffen sich ernährt, da war man geneigt anzunehmen, dass eine solche Pflanze überhaupt und unter keinerlei Umständen organische Substanzen in sich aufzunehmen und zu verarbeiten befähigt sei. Wir haben aber schon früher gesehen, dass in Bezug auf solche Dinge besser das Experiment zu Rate gezogen wird als unsere noch unfertigen theoretischen Anschauungen.

Es sind von mehreren Forschern Versuche in der bezeichneten Richtung in Bezug auf den Stickstoff gemacht worden. Namentlich hat man mit stickstoffhaltigen organischen Stoffen von einer Zusammensetzung, durch welche sich dieselben den anorganischen Stoffen nähern, Vegetationsversuche angestellt. Cameron**) und Hampe***) haben gezeigt, dass *Harnstoff direkt,* ohne vorher sich zersetzt zu haben, von Gersten- und Maispflanzen aufgenommen und zur Vermehrung der stickstoffhaltigen organischen Pflanzensubstanz benutzt wird — in Versuchen, wo die Pflanzen kein anderes stickstoffhaltiges Nahrungsmittel erhielten und dennoch sehr üppig gediehen. Weniger evident gelang in solchen Versuchen der gleiche Beweis für den anorganischen Stoffen etwas ferner stehende stickstoffhaltige Körper, wie *Harnsäure, Hippursäure* und *Guanin*†). Knop und W. Wolf††) haben in gleicher Weise gezeigt, dass *Leucin, Tyrosin* und *Glycocoll* von Roggenpflanzen aufgenommen und verarbeitet werden können. Bässler hat neuerdings nach einer sehr beachtenswerten neuen (fraktionierenden) Methode denselben Nachweis für das Asparagin gegenüber Maispflanzen beigebracht†††). Dagegen haben es Versuche der beiden eben genannten

*) Da im Waldboden gewöhnlich alle Nitrate fehlen. Vergl. Ebermeyer: Ber. d. botan. Gesellsch., 6, p. 217.

**) Landw. Versuchsstationen, B. VIII, p. 235. Landw. Centralblatt, 1858, I, p. 9.

***) Landw. Versuchsstationen, B. VII, p. 308, u. VIII, p. 225, u. IX, p. 49.

†) Die direkte Aufnahme von Harnsäure und Guanin wird von A. Vogel auf Grund von ausgedehnten Versuchen bestritten (vergl. Abhandl. d. k. bayer. Akad., II. Cl., X. B., III. Abt.), indessen wurde nur bewiesen, dass sich diese Stoffe in den feinsten Wurzelendigungen nicht mehr nachweisen lassen.

††) Chem. Centralblatt, 1866, p. 774; und W. Wolf: Landw. Versuchsstationen, Bd. X, p. 13.

†††) Landw. Versuchsst., 33, p. 231.

Forscher wahrscheinlich gemacht, dass *Pflanzenalkaloïde*, wie *Caffeïn, Cinchonin, Chinin, Morphin,* nicht befähigt sind, die Versuchspflanzen mit Stickstoff zu versorgen*).

Man kann also nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen etwa sagen, dass unter den *stickstoffhaltigen organischen Substanzen ausschliesslich diejenigen befähigt sind, die höhere grüne Pflanze mit Stickstoff zu versorgen, welche* vermöge ihrer Konstitution als Amide oder Amidosäuren ziemlich leicht Ammoniak abzuspalten vermögen, denn der Harnstoff kann z. B. als ein Amid der Kohlensäure aufgefasst werden, Leucin und Glycocoll sind Amidosäuren von zwei Fettsäuren u. s. f., während die Alkaloïde sich durch eine ungleich festere Konstitution auszeichnen, die vermutlich mit der der Benzolderivate grosse Ähnlichkeit hat. Auch Nitrokörper und Cyanide erscheinen**) unfähig, der Pflanze ihren Stickstoff zu liefern, vermutlich weil, soweit sie nicht an sich giftig sind, zu gewaltsame chemische Umwälzungen nötig sind, um aus diesen Stoffen einen Pflanzennährstoff abzuspalten***).

Auch an dieser Stelle möchte ich wieder auf das Wenige aufmerksam machen, was in Bezug auf die Ernährung anderer Organismen und besonders der niedern chlorophylllosen Pflanzen durch stickstoffhaltige organische Stoffe bekannt ist. Während die höheren Tiere und diese wahrscheinlich bis herab zu den allerniedersten Tierformen ihren Stickstoffgehalt in Gestalt von ganz gewissen organischen Substanzen, den sogenannten Proteïnsubstanzen, *aufnehmen müssen,* und also in diesem Falle die genannten Substanzen nicht durch beliebige andere stickstoffhaltige organische Stoffe und noch viel weniger durch anorganische vertreten werden können, scheint bei den niedrigen chlorophylllosen Pflanzen die grösste Mannigfaltigkeit in Bezug auf diesen Punkt zu herrschen. Die gewöhnlichen Schimmelpilze, welche, wie wir eben gelernt haben, Ammoniak und Salpetersäure als Quelle ihres Stickstoffgehalts wählen können, scheinen ebensogut fortzukommen auf einem Nährboden, der den Stickstoff in Form einer beinahe beliebigen organischen Substanz enthält; — wenigstens sind hier noch wenig Einschränkungen bekannt†). Abweichend

*) Vergl. auch Beyer: Landw. Versuchsst., 1867, p. 480; ferner die Arbeit von P. Wagner: Henneb. Journ., 1869, p. 82, mit ausführlichen Litteraturangaben auf p. 112.

**) In den Versuchen von Wolf und Knop zeigten sich unfähig, die Versuchspflanzen zu ernähren, nitrobenzoësaures Kali, pikrinsaures, amidobenzoësaures Kali, Thiosinamin, Ferrocyankalium und Ferridcyankalium. Vergl. Landw. Versuchsst., 1865, p. 463.

***) Bei schärferer Kritik kann freilich nicht verborgen bleiben, dass eine absolute Sicherheit in Sachen der Assimilation leicht zersetzbarer stickstoffhaltiger Stoffe nur schwierig zu erlangen ist. Ist eine gedeihliche Entwickelung der Pflanze und Stickstoffzuwachs derselben erlangt, ohne dass sich erhebliche Mengen von Ammoniak oder Salpetersäure in der Nährlösung nachweisen lassen, so gilt der Beweis für erbracht, und doch kann man sich den Fall denken, dass diese Zersetzung und Assimilation der Zersetzungsprodukte gleichen Schritt hält, so dass kein Überschuss der letzteren bleibt. Zersetzung aber ganz und gar zu verhüten, in einer Lösung, in welcher lebende Wurzeln eintauchen, ist natürlich ungemein schwierig. Man hat sich aber bei diesem etwas unfertigen Stand der Dinge beruhigt, weil die Frage für die Praxis keine sehr erhebliche Wichtigkeit besitzt. Auch begegnet der Bässler'sche Versuch selbst kritischeren Einwendungen.

†) Nach den Untersuchungen von Nägeli und O. Löw sind für Schimmelpilze auch Methylamin und andere Amine, Acetamid und Leucin gute Nahrungsmittel. Nur Cyanide, Nitrokörper und Alkaloïde versagten auch hier. Vergl. Sitzungsber. d. bayr. Akad., 5. Juli 1879.

verhält sich jedoch hier wieder der gewöhnliche Hefepilz, für dessen Ernährung ausgedehntere Studien vorliegen. Derselbe entnimmt seinen Stickstoff nur dem Ammoniak und denjenigen organischen Verbindungen, die dem Zerfall in Ammoniak etc. nicht allzu ferne stehen, welche, wie wir eben gesehen haben, auch die höhere chlorophyllgrüne zu ernähren vermögen, aber unter keinen Umständen den Nitraten. Als brauchbare organische Stoffe sind nachgewiesen durch Kulturversuche *Harnstoff*, *Asparagin* und einige andere Stoffe von amidartiger Konstitution, während ein Alkaloïd, das *Caffeïn* und ebenso *Leucin*, *Kreatin* sich negativ verhielten*). Proteïnstoffe sind nur insoweit fähig, den Bierhefepilz zu ernähren, als dieselben in einer peptonartigen Modifikation vorhanden, leicht durch dessen Zellhaut hindurchgehen. In diesem Falle bringen sie aber den besten Effekt hervor.

Trotz der grossen Mannigfaltigkeit der Stickstoffernährung bei den verschiedenen Organismengruppen, welche sich aus diesen Thatsachen ergiebt, weisen dieselben doch auch schon auf feste Gesetzmässigkeiten.

Für die höhere chlorophyllgrüne Pflanze, deren Studium uns zunächst obliegt, sind wir also zu dem Resultate gekommen, *dass nicht bloss die anorganischen Substanzen Salpetersäure und Ammoniak* als stickstoffhaltige Nahrungsmittel dienen können, *sondern auch eine Reihe von organischen Substanzen*, freilich solche, die ihrer Konstitution nach noch leicht Ammoniak abspalten und nicht allzu hoch organisiert sind**).

Eine ganz andere Frage als die bis dahin behandelte ist die nach der Wichtigkeit dieser einzelnen stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe in der Natur — die Frage: welche Nährstoffe findet die Pflanze draussen auf dem Ackerlande, resp. der Atmosphäre vor, um daraus ihre stickstoffhaltigen Bestandteile zu bilden? Für die realen Verhältnisse des Pflanzenwachstums muss schon hier hervorgehoben werden, dass den Gewächsen für die Aufnahme durch die Wurzeln unter gewöhnlichen Verhältnissen vorzugsweise *Salpetersäureverbindungen* und nur sehr zurücktretende Mengen von Ammoniaksalzen und von jenen stickstoffhaltigen organischen Stoffen zu Gebote stehen, dass praktisch die genannten stickstoffhaltigen organischen Verbindungen, welche die Pflanze zu ernähren vermögen, von geringer Bedeutung sind, da dieselben, wenn sie auch teilweise durch Düngung mit tierischen Exkrementen in den Boden gelangen sollten, doch in dem Boden selbst rasch der Fäulnis und Verwesung, dem Übergang in Ammoniak und später in Salpetersäure erliegen müssen. Gerade deshalb war es ja experimentell mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, Ernährungsversuche mit den genannten Versuchen anzustellen.

Etwas Ähnliches ist nun auch für die Verhältnisse des Ackerbodens speziell in Bezug auf das *Ammoniak* mehr und mehr wahrscheinlich geworden. Während die ältere Anschauung die Ernährung der Pflanzen draussen in der Natur auf Kosten von Ammoniak vor sich gehen liess, wurde später gezeigt, wie in der Ackererde in weitaus den meisten Fällen die Bedingungen vorhanden sind, um die Ammoniakver-

*) Siehe des Verfassers: Untersuchungen über die alkoholische Gärung, Heidelberg 1869; und Bialoblocki und Rösler: Annal. d. Önologie, I, p. 55.

**) Die doppelte oder dreifache Bindung zwischen C und N, wie sie die Alkaloïde und Cyanide charakterisiert, scheint hierbei ein unübersteigliches Hindernis zu sein.

bindungen, die durch direkte Düngung dem Boden einverleibt worden waren oder aus der Zersetzung beliebiger organischer stickstoffhaltiger Substanzen Entstehung genommen hatten, mehr oder weniger vollständig in Salpetersäureverbindungen überzuführen. Unter anderem wurde nachgewiesen, dass in der Ackererde unter gewöhnlichen Verhältnissen lange nicht diejenigen Mengen von Ammoniak vorhanden sind, wie uns die älteren nach unvollkommenen Methoden angestellten Analysen hatten glauben machen wollen*). In den Ackererden, die mit verbesserten Hilfsmitteln der Untersuchung unterworfen worden sind, wurden gewöhnlich nur *Milliontel* oder *Hunderttausendstel Ammoniakstickstoff* gefunden. In gleicher Weise wurde nachgewiesen, dass Ammoniak überhaupt nur in den oberen Bodenschichten gefunden werden kann, dass 1—2 Meter unter der Oberfläche im Boden sich kein Ammoniak mehr befindet. So wurden auch in tiefen Feldbrunnen lediglich salpetersaure Salze, keine Ammoniakverbindungen angetroffen, so dass naturgemäss die Vorstellung erwächst, dass das Ammoniak im Boden in den meisten Fällen rasch in Salpetersäure übergeführt wird, und in der Regel erst diese den Pflanzen zu gute kommt**).

Am meisten zutreffend ist diese Anschauung für humose Bodenarten, die ausserdem etwas Kalk enthalten, in welchen die Oxydation des Ammoniaks thatsächlich am raschesten erfolgt, unter Einfluss von niedrigen Organismen, wie zuerst Schützenberger und Müntz nachgewiesen haben***).

Es ist durch derartige Untersuchungen in der That sehr wahrscheinlich gemacht, dass, obwohl auch Ammoniaksalze und diesen nahestehende Verbindungen als stickstoffhaltige Nahrungsmittel der höheren Pflanzenwelt dienen können, doch die salpetersauren Salze das tägliche Brot dieser Organismenwelt sind.

Nachdem wir so die gewöhnlichen stickstoffhaltigen Nahrungsmittel der Pflanze kennen gelernt haben, drängt sich zunächst die Frage nach der Verbreitung dieser Nährstoffe in der Natur, nach den Bedingungen ihres Entstehens und Vergehens an uns heran; und wir können auf dieselbe schon jetzt etwas näher eingehen, ohne noch die näheren Bedingungen von deren Aufnahme ausführlich betrachtet zu haben.

Wir fassen für diesen Zweck passend die genannten verschiedenen stickstoffhaltigen Nährstoffe und ebenso die Stickstoffsubstanz der Pflanze selber zusammen unter dem Begriff „des gebundenen Stickstoffs“ gegenüber dem freien unverbundenen Stickstoff, der für die Pflanzen im allgemeinen keine Bedeutung hat. Es ist, um diesen Sprachgebrauch zu rechtfertigen, unter anderem hervorzuheben, dass es verhältnismässig schwierig ist, freien Stickstoff in irgend eine Form des gebundenen

*) Vergl. Baumann: Landw. Versuchsst., B. 33, p. 247. Man hatte sich früher zur Bestimmung des Ammoniaks der ätzenden Alkalien oder der alkalischen Erden in der Wärme bedient, welche Reagenzien (mit Ausnahme der Magnesia) auch aus stickstoffhaltigen organischen Substanzen, deren es eine grosse Menge in jeder humosen Ackererde giebt, Ammoniak zu entwickeln vermögen (vergl. Chem. Centralblatt, 1868, p. 376), während Baumann auch für diese Untersuchungen den salzsauren Bodenextrakt mit Magnesia usta destillierte.

**) Dies ist auch vermutlich die Ursache, dass die Flusswässer ärmer an Ammoniak (vergl. Boussingault: Agronomie etc., 1861, II, p. 239) sind als die atmosphärischen Niederschläge.

***) Compt. rend., T. 84, p. 301. Näheres über diesen Gegenstand im zweiten Teil dieses Lehrbuches.

(in eine Verbindung) und beinahe ebenso schwierig, gebundenen Stickstoff in freien überzuführen. Die einmal vorhandene Stickstoffverbindung hat bei nicht allzutief eingreifenden chemischen Metamorphosen die Neigung, in eine andere Stickstoffbindung sich zu verwandeln, während der freie Stickstoff nur selten bei chemischen Aktionen engagiert wird. — Wir haben erst vorhin zu erwähnen gehabt, dass stickstoffhaltige organische Stoffe der verschiedensten Art bei chemischen Reaktionen leicht Ammoniak ausgeben, und dass dieses — sofern Gelegenheit zur Oxydation sich bietet — leicht in Salpetersäure, nicht etwa in freien Stickstoff, obgleich dieser (unter gleichzeitiger Bildung von Wasser) zunächst bei der Oxydation entstehen zu müssen scheint, übergeht; und dies zeigt also, wie der einmal gebundene Stickstoff gerne die gebundene Form beibehält*).

Die hiermit geschilderten Verhältnisse zeigen, dass es erlaubt und zweckdienlich sein muss, geradezu kollektiv von gebundenem Stickstoff gegenüber dem freien zu sprechen. Der gebundene Stickstoff vermag die Pflanzen direkt oder durch seine Zersetzungsprodukte zu ernähren (selbst die nicht zur Ernährung geeigneten Cyanide liefern mit der Zeit wieder Ammoniaksalze, spielen übrigens wie auch die Alkaloïde in der Natur nur eine untergeordnete Rolle); der freie vermag dies nicht, und es ist somit für uns von Interesse, zu erfahren, *ob die Menge des in der Welt vorhandenen gebundenen Stickstoffs eine ein- für allemal abgegrenzte ist oder ob es in der Natur wirksame Vorgänge giebt, die freien Stickstoff in gebundenen, gebundenen in freien zu verwandeln* bestrebt sind. — Von dem Ausgang dieser Betrachtung wird es wesentlich abhängig sein, ob wir in dem freien Stickstoff der Atmosphäre ein für die Pflanzenwelt ganz und gar neutrales Medium zu erkennen haben werden, oder ob derselbe einen unerschöpflichen Vorrat von *indirekt* auf das organische Leben einwirkendem Stickstoff darstellt.

Was zunächst die *Umwandlung von freiem Stickstoff in gebundenen* betrifft, so ist ein erwiesener Übergang der folgende: Schon Cavendish**) hatte gezeigt, dass der elektrische Funke im stande ist, den Stickstoff der atmosphärischen Luft auf Kosten des in derselben enthaltenen Sauerstoffs zu oxydieren und so Salpetersäure oder zunächst Untersalpetersäure zu erzeugen. Da wir nun alle wissen, dass der Blitz nichts anderes ist, als ein sehr grosser und mächtiger elektrischer Funke, so werden wir auch den Gewittern die Fähigkeit zuschreiben müssen, den freien Stickstoff der Atmosphäre mit dem Sauerstoff, mit dem er in der atmosphärischen Luft als unverbundenes Gasgemenge vorhanden ist, chemisch zu verbinden und so einen Teil des freien, für die Pflanzenwelt bis dahin indifferenten Stickstoffs in gebundenen zu verwandeln. Wir werden sehr bald sehen, dass man thatsächlich im stande ist, die vermutlichen Spuren dieses Vorgangs in den Meteorwässern nachzuweisen. Der elektrische Funke wirkt indessen nicht allein, wie man nach den

*) Dies Verhalten kann jedenfalls leicht auf die Konstitutionsverhältnisse der Stickstoffverbindungen zurückgeführt werden und ist wohl allen drei- und mehratomigen Elementen mehr oder weniger eigentümlich.

**) Kopp: Geschichte d. Chemie, III, p. 277. Vergl. auch Houzeau: Ann. d. chim. et phys., 72 sept.

letzterwähnten Erfahrungen glauben könnte, durch seine hohe Temperatur; denn stille Entladungen haben einen ähnlichen Effekt*).

Ganz ähnlich wie der elektrische Funke scheinen auch andere sehr hohe Temperaturen in einem lufthaltigen Gasgemenge zu wirken, z. B. intensiv verlaufende Verbrennungen**). So wird z. B. im Eudiometer bei der gewöhnlichen Gasanalyse stets Untersalpetersäure u. dergl. gebildet, wenn dem explosiven Gemenge viel Knallgas beigemischt ist***).

Neben diesen Oxydationsvorgängen, welche der ungebundene Stickstoff in der Natur erleidet, haben wir die andern Arten der Bindung desselben zu unterscheiden, zunächst die Verbindung, welche derselbe nach Schönbein's Versuchen mit dem gewöhnlichen Wasser einzugehen befähigt ist. Dieser Forscher hat in einer Reihe von schönen, z. T. freilich willkürlich interpretierten Versuchen†) den Nachweis geführt, dass bei der Einwirkung von Wasser auf Stickstoff bei gewissen Temperaturen ansehnliche Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak entstehen, welcher Vorgang nur auf Kosten von freiem Stickstoff etwa nach der Gleichung:

$$2\,N + 2\,H_2O = NH_4NO_2$$

von statten gehen kann. Schönbein hat nämlich gezeigt, dass nicht allein bei Verbrennung††) von Phosphor in feuchter Luft, sondern auch bei Verbrennung von vielen andern Körpern, z. B. von Fetten, Wasser, Öl, Holz†††) in gleicher Weise geringe Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak gebildet werden, welche Erscheinung er auch in diesem Falle der Einwirkung erhitzter Wasserdämpfe auf die atmosphärische Luft zuschreibt. Dass auch bei Verdunstung des Wassers bei gewöhnlicher Temperatur nach dem genannten Forscher salpetrigsaures Ammoniak entstehen soll, haben spätere Untersucher indessen nicht bestätigen können*†).

Schönbein sah auch zugleich die grosse Tragweite der von ihm entdeckten Thatsache und besonders deren Bedeutung für die Vegetation deutlich voraus; denn

*) Houzeau: Annal. chim. phys. (4), T. 22, p. 150 und noch spätere Publikationen. Dahin gehören auch die Angaben Berthelot's über Entstehung von Amiden aus Kohlenhydraten unter dem Einfluss geringer elektrischer Spannung. Vergl. Compt. rend., 1876, II, p. 677 u. T. 85, p. 173; auch Compt. rend., 101. p. 775.

**) Kämmerer (Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1877, p. 16, 84) hat nachgewiesen, dass beim Verbrennen von Magnesia in Luft reichlich Stickoxyd entsteht, kleinere Mengen auch beim Verbrennen von Wasserstoff. Vergl. auch Naturf., 1883, p. 399.

***) Vergl. Bunsen: Gasom. Methoden, p. 63.

†) Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 124, p. 1—13.

††) Schon de Saussure hatte in dem Wasser, das bei der Verpuffung von lufthaltigem Knallgas entstanden war, Ammoniak, salpetrige Säure neben Salpetersäure nachgewiesen. Vergl. auch Kolbe: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 119, p. 176.

†††) Für die Verbrennung von Leuchtgas wurde indessen von Than (Naturforscher, 1870, Nr. 33) nachgewiesen, dass es sich hierbei lediglich um Ozonbildung und nicht um Bildung von salpetrigsaurem Ammoniak handelt. Im übrigen aber wurden die einschlagenden Schönbein'schen Versuche bestätigt. Vergl. Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1877, p. 2144; und C. Engler: Histor. krit. Studien üb. d. Ozon, Halle 1879, p. 64.

*†) Carius: Annal. d. Chem. Ph., B. 174, p. 41; Bohlig: ebenda, B. 125, p. 21; Brettschneider: Preuss. Annal. d. Landw., 1870, p. 25; und namentlich Baumann: Landw. Versuchsst., 35, p. 217.

obwohl die salpetrige Säure wohl selbst nicht als direktes Pflanzennährmittel angesehen werden darf, geht sie doch leicht durch Oxydation in Salpetersäure über und kann deshalb für unsere Zwecke als gleichwertig mit dieser angesehen werden. — Indessen bleibt auch in den wiederholt untersuchten Erscheinungen noch manches dunkel*), und es muss zweifelhaft bleiben, *in welcher Verbreitung* und *mit welcher Intensität* die aufgefundenen Vorgänge in der Natur einen Platz finden. Wir werden allerdings bald das ziemlich regelmässige Vorkommen von salpetrigsaurem und salpetersaurem Ammoniak in der Luft und den meteorologischen Niederschlägen kennen lernen; aber z. T. hat man Ursache, anzunehmen, dass diese Verbindungen einfach von der Oberfläche der Erde aus faulenden Stoffen (z. B. schlecht konserviertem Stallmist) in der Form von Ammoniak abgedunstet sind, welches nachträglich durch Ozon z. T. in die Sauerstoffverbindung übergeführt worden ist**).

Weitere Vorgänge der Bindung von Stickstoff in der Natur sind bis jetzt mit Sicherheit nicht erkannt worden***), mit Ausnahme der Bindung dieses Elements in besonderen Fällen durch die Organismenwelt selber — ein Gegenstand, der seiner Wichtigkeit wegen, wie auch wegen der ganz plötzlichen Entwickelung unserer Kenntnisse über denselben eine besondere Darstellung erheischt.

Durch die Kunst sind wir allerdings befähigt, den in Rede stehenden Übergang auf noch ganz andere Arten herbeizuführen. In England bestand vor einer Reihe von Jahren eine Methode der Blutlaugensalzfabrikation auf Kosten des freien Stickstoffs der Luft†). Das Blutlaugensalz, welches eine Cyanverbindung ist, wird sonst

*) Vergl. besonders Zabelin: Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 130, p. 54—95; auch Schulze: Landw. Jahrb., 1877, p. 701.

**) Ausser Ozon wirkt auf die Überführung von NH_3 in NH_4NO_2 auch Plantinmoor, nicht aber organismenfreie poröse Ackererde. Vergl. Landoldt: Naturforscher-Versammlung 1886, Sektion 29; und Löw: Chem. Ber., 1890, p. 1443.

***) Eine Angabe Mulder's (wonach ein weiterer Übergang entdeckt zu sein schien), die sich später als unrichtig erwiesen hat, verdient — wenn auch nicht im Text — einer kurzen Erwähnung. Dieselbe behauptet die Bildung von Ammoniak aus freiem Stickstoff und Wasserstoff im status nascens. So sollen z. B. feuchte, an der Luft liegende Eisenfeilspäne beim Rosten Wasser zersetzen und gleichzeitig Ammoniak bilden. Es wird auf diese Weise sogar der Ammoniakgehalt der Eisenerze erklärt, während doch beliebige andere Mineralien auch Spuren dieses Körpers enthalten. Ähnliches soll dann beim Faulen der organischen Stoffe im Boden, wobei Wasserstoffentwickelung beobachtet werden konnte, stattfinden, und so eine weitere Quelle gebundenen Stickstoffs für die Pflanzen zur Verfügung stehen. Es ist aber von Le Voir (Journ. f. pr. Chemie, Bd. 84, p. 326) und andern gezeigt worden, dass die Mulder'sche Beobachtung unrichtig ist, dass nämlich das auftretende Ammoniak aus dem destillierten Wasser stammt und nur durch das Eisenoxyd aus diesem ausgetrieben wird, dass ausserdem das Eisen bei gewöhnlicher Temperatur gar nicht im stande ist, das Wasser zu zersetzen, sondern sich nur auf Kosten des im Wasser enthaltenen Sauerstoffs oxydiert, so dass also nicht allein die Beobachtung unrichtig ist, sondern auch das gewählte Experiment gar nicht die Bedingungen repräsentiert, für die der Beweis geführt werden sollte. Vergl. über diesen Gegenstand Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc., 1862, I, p. 303 bis 314; auch U. v. Hutten: Über die Ursachen des Rostens des Eisens, 1872.

†) Dahin gehört auch das Verfahren von Margueritte und Sourdeval, welche Ätzbaryt an Stelle von Kali verwendeten. Vergl. Muspratt (deutsch von Kerl u. Stohmann), 3. Aufl., B. I, p. 691.

im allgemeinen aus Potasche, Eisen und einer organischen stickstoffhaltigen Substanz dargestellt, und dies ist gegenwärtig noch die gebräuchliche Darstellungsmethode. Dass jene anscheinend vorteilhaftere Methode sich nicht bewährte, liegt einfach an dem grossen Aufwande von Brennmaterial und Gefässen; aber es ist auch heute keinem Zweifel unterworfen, dass wir auf diese Weise gebundenen Stickstoff im grossen erzeugen können.

Die Cyanverbindungen stehen in genauer Wechselbeziehung zu den uns schon bekannteren Formen des gebundenen Stickstoffs, obwohl sie selbst, wie wir gesehen, nicht als Pflanzennahrungsmittel dienen können. Ammoniak kann durch Überleiten über glühende Kohlen in Cyan verwandelt werden. Die organischen Nitrile, welche nichts weiter sind als Ammoniakverbindungen, denen man Wasser entzogen hat, können gleichzeitig auch als Cyanverbindungen betrachtet werden. Das ameisensaure Ammoniak wird beim Erhitzen zu Cyanwasserstoffsäure (Blausäure), und diese kann umgekehrt bei Behandlung von starken Säuren und Basen unter Aufnahme von 2 Molekülen Wasser in ameisensaures Ammoniak übergehen. Auch durch Digerieren in der Wärme von Cyankaliumlösung mit wenig verdünnter Schwefelsäure kann man leicht wieder Ammoniak erzeugen. Hält man diese vielfachen Beziehungen von Cyanverbindungen zu Ammoniak fest, so ist ersichtlich, dass jene erwähnte Darstellung einer Cyanverbindung aus dem freien Stickstoff der Atmosphäre, die beim Überleiten von Stickstoff über weissglühende Kohlen, bei gleichzeitiger Anwesenheit eines stark alkalischen Stoffes, regelmässig erfolgt, eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs in dem erläuterten Sinne auf Kosten des unverbundenen bedeutet*), und dass man im stande wäre, nach derselben Methode auch stickstoffhaltige Pflanzennährstoffe aus dem unverbundenen Stickgas künstlich darzustellen.

Weiter kann man durch sehr starke Kompression der atmosphärischen Luft einen Teil des darin enthaltenen Stickstoffs und des Sauerstoffs zu Salpetersäure aneinander binden, eine Erscheinung, die im Grunde auf die grosse Erhitzung infolge des raschen Zusammenpressens, mithin auf eine schon früher besprochene Reaktion hinausläuft. Bringt man Ätzkalk hinzu, so lässt sich dieselbe bis zu einem gewissen Grade anhäufen. Man hat zwar versucht, diese Erscheinung praktisch zu verwerten; der Erfolg scheint aber auch nicht den Erwartungen entsprochen zu haben.

Schliesslich verdient die künstliche Darstellung von Ammoniak auf Kosten des freien Stickstoffs Erwähnung. Dieselbe erfolgt in äusserst geringem Maasse in einem Gemisch von Wasserstoffgas und Stickstoff beim langandauernden Durchschlagen des elektrischen Funkens**).

Dies sind ungefähr die bekannten Prozesse, welche eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs auf Kosten des unverbundenen veranlassen können. Man erkennt, dass eine Hauptbedingung, den Stickstoff in Verbindung überzuführen, die Anwendung

*) Auch in Hochöfen entstehen häufig grosse Mengen von Cyankalium auf Kosten des Stickstoffs der Gebläseluft und der im Eisenerze und Zuschlag enthaltenen alkalischen Substanzen. Vergl. auch: Muspratt's Chemie, 3. Aufl., B. 2, p. 257.

**) Perrot: Jahresbericht der Chemie, 1859, p. 35; und P. A. Thénard: Compt. rend., 1873, 21 avr. — Die früher gemachte Angabe der NH_3-Erzeugung nach Fleck wurde durch Weinmann widerlegt (Ber. d. deutsch.-chem. Gesellsch., 1875, S. 976).

von sehr hohen Temperaturen ist. — Lassen wir uns den eben behandelten Vorgängen jene andern gegenüberstellen, *die den Stickstoff wieder in Freiheit zu setzen vermögen.* Wir können in Bezug auf diesen Gegenstand ziemlich kurz sein.

Durch vielfältige Versuche*), die grossenteils mit Stallmist im Interesse der Landwirtschaft angestellt wurden, hat sich ergeben, dass *faulende* oder *verwesende Substanzen* freien Stickstoff zu entwickeln vermögen neben Fäulnisprodukten, in denen die gebundene Form noch vertreten ist. Bedecken der faulenden Substanzen mit Erde, besonders kalkhaltiger, beschränkt indessen diese Entwickelung von freiem Stickstoff auf ein Minimum. Da Fäulnis und Verwesung auf die Thätigkeit von niedrigen Organismen hinausläuft, so ist die hier besprochene Erfahrung im Grunde identisch mit Entbindung von Stickstoff durch den Lebensprozess von Bakterien und dergl. und ist deshalb darauf hinzuweisen, dass eine solche Entbindung mit grosser Exaktheit bewiesen worden ist**).

Wir brauchen nun unsere Erfahrungen nur noch auf die *Verbrennungsprozesse* auszudehnen, um die Hauptformen des Übergangs des Stickstoffs in den ungebundenen Zustand in der Natur zu kennen. Bei der Verbrennung einer grossen Reihe von stickstoffhaltigen organischen Verbindungen tritt ein Teil des Stickstoffs frei aus, besonders wenn jene bei unbeschränktem Luftzutritt stattfindet. Bei der trocknen Destillation aber oder der Verbrennung in Wasserdampf wird der Stickstoff in der Form von Ammoniak frei. Man denke einerseits an die Bedingungen der Dumas'schen Stickstoffbestimmung, andererseits an die von Will-Varrentrapp und die verunglückte von Grouven, und man wird diese Regel für immer seinem Gedächtnisse eingeprägt haben.

Ausser diesen Arten des Übergangs giebt es noch einige lediglich in der Chemie bekannte und nur für diese belangreiche Methoden***) (die aber für unsern Gegenstand kein erhebliches Interesse haben), durch die es gelingt, aus sehr vielen stickstoffhaltigen Stoffen den Stickstoff unverbunden abzuscheiden.

Nachdem wir nun eine Vorstellung gewonnen haben von denjenigen stickstoffhaltigen Substanzen, aus welchen die höhere chlorophyllgrüne Pflanze ihren Bedarf an Stickstoff schöpft, und zugleich einen Blick geworfen haben auf die Wechselbeziehungen dieser Substanzen zum freien Stickstoff, auf die Bedingungen zu deren Bildung und Zerstörung, sind wir im stande, eine Betrachtung von grösserer Tragweite anzustellen, die Abhängigkeit der Pflanzenwelt (und somit der ganzen Organismenwelt) zu ermitteln von dem einmal bestehenden Vorrat an gebundenem Stickstoff und den möglichen Veränderungen dieses Vorrats. Dass eine solche Abhängigkeit bestehen muss,

*) Vergl. über diesen Gegenstand ferner König und Kiesow: Landw. Jahrb., II, p. 107; daselbst auch Litteraturangaben; Schlösing: Compt. rend., 1873, juillet, août. Eine sinnreiche Theorie des Vorgangs ist durch Dietzell gegeben worden. Vergl. Zeitschr. d. landw. Vereins in Bayern, März 1882; auch Kellner u. Yoshii: Zeitschr. f. physiol. Chemie, 1887, p. 95.

**) Aberson u. Giltay haben die Lebensweise eines in der Ackererde vorkommenden Bacillus, des von ihnen sog. Bacillus denitrificans, geprüft und quantitative Reduktion von Salpetersäure in freien Stickstoff vorgefunden (Arch. Neerl., 25, p. 341).

***) Z. B. der bei der Stickstoffbestimmung mit dem Azotometer benutzte Vorgang: das Verhalten des Hydroxylamins; salpetrige Säure und Ammoniakderivate etc.

ist leicht ersichtlich aus dem wiederholt hervorgehobenen Satze, dass weithin die *meisten Organismen* nur gebundenen Stickstoff assimilieren und nur gebundenen Stickstoff ausscheiden, *dass die Organismenwelt im allgemeinen keine Änderung des einmal auf unserer Erde bestehenden Vorrats an gebundenem Stickstoff zu bewirken vermag.*

*Dieser bestehende Vorrat und diejenigen Prozesse, welche diesen Vorrat abzuändern bestrebt sind, bestimmen also unter gewissen Umständen die mögliche Ausdehnung der Organismenwelt***), da deren Bedarf an Stickstoff durchaus nicht beliebig eingeschränkt werden kann und bei nicht befriedigtem Bedarf an diesem Bestandteil selbstredend die noch so üppige Fülle der übrigen Lebensbedingungen nicht einen etwaigen Mangel an dieser einen ausgleichen kann.

Dieser Hinweis wird genügen, um auf das Interesse aufmerksam zu machen, welches die Grösse dieses Vorrats an gebundenem Stickstoff, dessen Entstehung und Abänderung im Lauf der Schöpfungsgeschichte und dann die hieraus abzuleitenden voraussichtlichen Vergrösserungen oder Verminderungen desselben in der Zukunft für uns hat. Es handelt sich mit andern Worten darum, die frühere und gegenwärtige Wirkungsgrösse der von uns gekannten Prozesse, die jenen Vorrat zu vermehren oder zu vermindern vermögen, annähernd abzuschätzen.

Obwohl wir nun diese so zu präzisierende Aufgabe entfernt nicht zu lösen vermögen, da es uns an allen Maassstäben der Schätzung der Wirksamkeit jener Prozesse durchaus gebricht, so verhilft doch eine in dieser Richtung angestellte Betrachtung zu einigen wichtigen Gesichtspunkten.

Wir sehen uns gleich von Anfang zu dem Zugeständnisse gezwungen, dass wir von der auf unserm Planeten vor dem Anfang des organischen Lebens (selbst wenn wir die sehr wahrscheinliche und fast ganz allgemein angenommene Hypothese des einst feurig flüssigen Zustandes desselben acceptieren) vorhandenen Menge von gebundenem Stickstoff wenig wissen. Es lässt sich von einem solchen Urzustande bei sehr hoher Temperatur nur mit voller Bestimmtheit behaupten, dass damals keine organischen stickstoffhaltigen Stoffe vorhanden sein konnten, ferner mit einiger Wahrscheinlichkeit aussagen, dass wegen des jedenfalls anzunehmenden Sauerstoffüberschusses wohl kein Ammoniak bestehen konnte; aber es steht kein Hindernis im Wege, die Existenz von Salpetersäure in jenen frühen Perioden anzunehmen. Vielmehr macht die Möglichkeit elektrischer gewitterartiger Erscheinungen zu jener Zeit die schon frühe Anwesenheit von Salpetersäure einigermaassen wahrscheinlich**), ohne dass wir freilich im stande wären, deren mögliche oder notwendige Menge auch nur annähernd zu taxieren. Es muss überhaupt gesagt werden, dass die grosse Mannigfaltigkeit der möglichen Prozesse uns völlig verbietet, die damals herrschenden

*) Es kann wohl keinem Zweifel unterworfen sein, dass auch praktisch der Mangel an Stickstoffnahrung es vorzüglich ist, der an vielen Orten und namentlich, wo die Kultur nicht andere Vegetationsbedingungen abschwächt, der Ausdehnung der Pflanzenwelt eine Grenze setzt. Vergl. über diesen Gegenstand den II. Teil dieses Buches.

**) Eine derartige Annahme der Bindung des vordem freien Stickstoffs auch bei dem Geologen Bischof.

Verhältnisse zu übersehen, und deswegen verdienen einzelne Vermutungen, wie die gelegentlich ausgesprochenen, von der Bindung des freien Stickstoffs durch Bor oder Silicium in solchen Perioden*), womit nachher bei Berührung mit wässrigen alkalischen Substanzen oder auch nur mit wässriger Kohlensäure Gelegenheit zur Bildung von Ammoniak gegeben wäre, kaum eine ernstliche Erwägung.

Soviel können wir aber in allen Fällen als gewiss ansehen, dass beim Auftreten der Organismenwelt bereits eine gewisse Menge gebundenen Stickstoffs**) — es ist hier an den Ammoniakgehalt vieler aus grosser Tiefe geholten Mineralien zu erinnern — vorhanden war und dass derselbe von dieser zunächst nicht vermehrt, wohl aber konzentriert werden konnte.

Nicht ganz so ratlos, wie der eben erörterten Frage, stehen wir jener andern gegenüber, ob seit dem Bestehen der Organismenwelt eine Vermehrung oder eine Verminderung des gebundenen Stickstoffs stattgefunden hat, und ob gegenwärtig in dem einen oder dem andern Sinn eine Tendenz zur Abänderung desselben bestehe. Wir können zwar, wie gesagt, weder die Wirksamkeit derjenigen Prozesse, die freien Stickstoff in eine gebundene Form überführen, noch jener andern Prozesse, die im umgekehrten Sinn wirken, auch nur annähernd gegeneinander abschätzen. Dennoch sind wir im stande, eine gewisse gegenseitige Abhängigkeit derselben und der Organismenwelt voneinander zu konstatieren.

Wir sind früher zu dem Resultate gekommen, dass diejenigen Vorgänge, die eine Verminderung des einmal in gebundener Form vorhandenen Stickstoffs veranlassen, wesentlich in den Verbrennungs- und Verwesungsprozessen stickstoffhaltiger organischer Substanz bestehen. Wir werden also sagen können, dass der gebundene Stickstoff, der in die organische Substanz übergegangen ist, eine besondere Wahrscheinlichkeit bietet, in die unverbundene Form zurückzugelangen, und dass, da es eben das *Pflanzenleben* ist, welches jenen Übergang des gebundenen Stickstoffs in die organische Substanz veranlasst, dieses *der Verminderung des gebundenen Stickstoffs einigen Vorschub leistet.* — Es wird nicht möglich sein, diesen Konsequenzen zu entgehen.

Wir werden, wenn wir gleichzeitig die Bedingungen des entgegengesetzten Vorgangs berücksichtigen, zu folgender Anschauung mit einiger Wahrscheinlichkeit gedrängt. — Es entstehen ohne Beihilfe der Organismenwelt, namentlich durch elektrische Vorgänge, alljährlich gewisse neue Mengen von gebundenem Stickstoff in unorganischer Form. Dieser befördert aber, wenn die übrigen Bedingungen hierzu vorhanden sind, ein üppiges Gedeihen der Organismenwelt. Die letztere ändert an sich nichts an der Menge des gebundenen Stickstoffs, vermag ihn nur unter gewissen Umständen in Form von organischen Substanzen zu konzentrieren, während er im

*) Wöhler und de Ville. Vergl. Jahresbericht der Chemie, 1857, p. 92; 1858, p. 790; 1859, p. 155.

**) Vergl. hierüber die Angaben von Boussingault, Berzelius und namentlich Braconnot bei Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc., 1862, I, p. 305 und 308; ferner Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung etc., 1840, p. 102, wo von dem Ammoniakgehalt der aus den heissen Wasserdämpfen des Erdinnern gewonnenen Borsäure die Rede ist.

andern Falle grossenteils von den Grundwassern mit fort und ins Weltmeer*) geführt worden wäre. Indirekt giebt aber die so gediehene Organismenwelt wieder Veranlassung zur Befreiung des Stickstoffs, da die verwesenden organischen Substanzen einen Teil des Stickstoffs in ungebundener Form ausgeben.

So scheint, wenn man diesen Konsequenzen Gehör verleiht, die Organismenwelt als eine Art von Regulator für die übermässige Anhäufung des gebundenen Stickstoffs zu dienen, indem sie, selbst durch diese gefördert, indirekt dem umgekehrten Prozesse Vorschub leistet. Diese Andeutungen werden voraussichtlich später, wenn es möglich sein wird, die einschlagenden Verhältnisse vollständiger zu überblicken, in weit bestimmterer Form ausgesprochen werden können.

Ferner gestatten uns die angestellten Betrachtungen über die Quellen der Vermehrung und Verminderung des gebundenen Stickstoffs ein Urteil über die Wirksamkeit des Eingriffs menschlicher Handlungen in Bezug auf eine solche Vermehrung oder Verminderung. Man wird schon jetzt leicht einsehen, dass es gar sehr im menschlichen Interesse wäre, eine Vermehrung des gebundenen Stickstoffs auf der Erde zu bewirken, da hierdurch eine Vegetationsbedingung, an der häufig, wie aus den erfolgreichen Düngungen mit den verschiedensten stickstoffhaltigen Stoffen hervorgeht, Mangel herrscht, in grösserer Fülle hergestellt wird.

Es muss in dieser Hinsicht entschieden ausgesprochen werden, dass es in der Macht menschlicher Thätigkeit liegt, in erheblichem Maasse freien Stickstoff in Verbindung überzuführen, andererseits den Übergang des gebundenen in freien zu verhüten, *wenn dergleichen Maassregeln auch nicht immer wirtschaftlich lohnende sind.* Die physische Möglichkeit dahin gerichteter Arbeiten eröffnet immerhin die Aussicht auf dereinstige wirtschaftliche Ausführbarkeit durch Verbesserung der Methoden oder bei dringenderem Bedürfnis. Wir stellen oder stellten bereits Stickstoffverbindungen auf Kosten des ungebundenen atmosphärischen Stickstoffs dar, freilich nicht für den Gebrauch in der Landwirtschaft, sondern zu industriellen Zwecken, da die Produktionskosten noch nicht bis auf einen Punkt vermindert sind, dass es derselben möglich wäre, Nutzen aus dieser Darstellung zu ziehen.

Was die Maassregeln zur Verhütung eines Verlustes an gebundenem Stickstoff bei Verbrennung und Verwesung stickstoffhaltiger organischer Substanzen betrifft, so liegen auch solche auf dem Gebiete der Ausführbarkeit. Wir wissen schon aus den beiden vorhin erwähnten Methoden der Stickstoffbestimmung in organischen Substanzen, dass man beim Glühen die Entbindung in Form von freiem Stickstoff durch Abschluss des Sauerstoffs und weiter durch Zumischung stark alkalischer Stoffe — wenigstens bei all den organischen Substanzen, die hier in Betracht kommen —

*) Von entschiedenem Interesse ist deshalb der Gehalt des Meerwassers an gebundenem Stickstoff. Vierthaler fand (Jahresbericht der Chemie, 1867, p. 1032) an der Küste von Spalato im Meerwasser 13,8 Milliontel Ammoniak, was den Meteorwässern gegenüber schon einer entschiedenen Anreicherung entspräche. Salpetersäure hat man dagegen durch viele Analysen nicht oder nur in Spuren aufzufinden vermocht. Vergl. Compt. rend., T. 80, p. 175. — Über den Salpetersäuregehalt vieler Seen und Flüsse vergl. Boussingault: Agronomie etc., 1861, II, p. 72 und 73; über den Ammoniakgehalt von Quellen und Flüssen ebenda, p. 195 und 196.

vollständig verhüten kann. Etwas Ähnliches scheint zufällig auch für die Verwesungserscheinungen, mit denen wir es hier eigentlich allein zu thun haben, zu gelten. Auch bei diesen kann man, wie es scheint, durch Vermischung einer verwesenden organischen Substanz mit Kalk die Entbindung von freiem Stickstoff einschränken*), ohne dass freilich schon in diesem Sinne *mit Bewusstsein* von Kalkbeimengungen zum Dünger wäre Anwendung gemacht worden. Auch eine Vermischung der verwesenden Stoffe mit Gips oder Erde leistet ganz ähnliches**).

Von dergleichen Maassregeln, deren *physische Möglichkeit* allein hier festzustellen meine Absicht war, sind strenge auseinander zu halten diejenigen Manipulationen, deren Zweck es ist, den im Einzelbesitz befindlichen gebundenen Stickstoff festzuhalten, obgleich, wie es scheint, beide häufig zusammenfallen. Es ist natürlich für den einzelnen Landwirt unter Umständen eine höchst rentable Operation, wenn er seinen Mist durch Konservierungsmittel, durch Überdachung oder Bepflanzung seiner Dungstätte, durch rasches Unterpflügen des auf dem Acker liegenden Mistes vor Verlust an gasförmig entweichendem Ammoniak hütet; aber an der einmal vorhandenen Menge gebundenen Stickstoffs ändern diese mannigfachen Manipulationen nichts, und das bei Unterlassung derselben entweichende Ammoniak fällt beim nächsten Regen wieder auf die Erde nieder, aber eben nicht nur auf das Feld desjenigen Landwirts, der es hat entschlüpfen lassen, sondern auch auf die Felder aller andern. Hierin liegt der Grund jener Vorsichtsmaassregeln, nicht etwa in der Möglichkeit, auf diese Weise die Menge des gebundenen Stickstoffs an sich zu vermehren.

So viel über die menschlichen Eingriffe in die Prozesse der Bindung und Entfesselung des Stickstoffs. In der hinter uns liegenden Betrachtung scheinen mir immerhin einige brauchbare Fingerzeige zu liegen für die zukünftige Entwickelung der Düngerwirtschaft. — Wir kommen auf einige hier angedeutete Punkte ganz am Ende dieser Vorlesungen, wo die wirtschaftlichen Verhältnisse mit zu Rate gezogen werden sollen, zurück.

*) Dies zeigen die Versuche von E. Wolff (Naturgesetzliche Grundlagen des Ackerbaus, 1856, p. 597), der Mist unter verschiedenen Umständen verrotten liess, und wenn er Kalk zumischte, den bei weitem geringsten Verlust an Stickstoff (7,5 %) beobachtete; ferner die früher angeführten Arbeiten von König u. Kiesow, sowie von Dietzell. Vergl. p. 184, Anm. 1.

**) König u. Kiesow: Landw. Jahrb., II, 1873, p. 107; und Holdefleiss in seinen bekannten im zweiten Teile dieses Buches ausführlich zu besprechenden Stallmistkonservierungsversuchen.

Dreizehnte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze (Fortsetzung). — Die Stickstoffquellen für die Pflanzen in der Natur.

Lassen Sie uns heute auf einen andern Gegenstand etwas näher eingehen, *auf die Mengen von Stickstoff, die einer Pflanze*, die keine Düngung empfängt, *nach unserer bisherigen Kenntnis von der Natur zur Verfügung gestellt werden.* Die Erörterung dieses Gegenstandes hat ein besonderes Interesse für uns wegen der an dieselben sich später knüpfenden praktischen Fragen. Auch spielte derselbe eine Rolle in dem wissenschaftlichen Streite der in Bezug auf die Stickstofffrage auf verschiedenen Standpunkten stehenden Parteien.

Die Pflanze, die in einem bis dahin vegetationslosen und also völlig unorganischen Boden wurzelt, erhält von der Natur Anweisungen, einstweilen vorausgesetzt, dass sie keine Gelegenheit besitzt, selber an der Assimilation von freiem Stickstoff teilzunehmen:

Auf die in den atmosphärischen Niederschlägen regelmässig niederfallenden Mengen von Ammoniak und Salpetersäure (resp. salpetrige Säure),

auf die in dem Boden (durch gewisse Fähigkeiten) festgehaltenen Mengen dieser Verbindungen, aus früheren Niederschlägen stammend.

Es kommt also zunächst darauf an, den Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an solchen Verbindungen kennen zu lernen. Aus der grossen Masse von Angaben, welche über diesen Gegenstand vorhanden sind, entnehmen wir nur folgende Daten*):

Die atmosphärische Luft zunächst, aus welcher Ammoniak- und Salpetersäure durch Auswaschung in die wässrigen Niederschläge gelangen, enthält nach älteren Bestimmungen an verschiedenen Orten und von verschiedenen Beobachtern 0,02 bis 0,08 Milliontel Ammoniak (Ville, Bineau), natürlich nicht frei, sondern an Salpetersäure oder bei unzureichender Menge derselben an Kohlensäure gebunden; nach neueren Angaben noch ungleich viel weniger**).

De Saussure ist der erste gewesen, der von den ammoniakalischen Dünsten in der Atmosphäre sprach***), und Liebig†) hat 1826 zuerst im Regenwasser sal-

*) Eine ausführliche Darstellung dieses Gegenstandes ist nicht mehr nötig seit der Revolution infolge der Hellriegel'schen Entdeckungen.

**) Nach Müntz und Aubin ist NH_3 und N_2O_5 in fester Form in der Luft. Vergl. Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1884, p. 135.

***) Recherches s. l. végétation, p. 207.

†) Chemie in ihrer Anwendung, I, 1862, p. 317. — Ammoniak war freilich schon von Brandes ein Jahr vorher (Boussingault: Agronomie etc., 1861, II, p. 170) nachgewiesen worden und Liebig hat dem gemachten Fund erst weit später eine Bedeutung beigelegt; vergl. auch über dieses Verhältnis Hlubeck: Beleuchtung der org. Chemie etc., 1842, p. 56. Salpeter-

petersaures Ammoniak nachgewiesen. Der Salpetersäuregehalt der Atmosphäre ist dagegen auch heute noch nicht genau bekannt.

In den atmosphärischen Niederschlägen sind nach den neusten und zuverlässigsten Methoden meistens nur ein Milliontel oder weniger Salpetersäure und ähnliche Mengen von Ammoniak gefunden worden*).

Genauere Angaben über diese Verhältnisse haben heute wenig Bedeutung mehr, da man jetzt deutlich erkannt hat, wie wenig der Stickstoff des Regenwassers selbst im günstigsten Falle für die Ernährung der Pflanze bedeutet. Nur folgende Gesetzmässigkeiten, auf die man gestossen, haben noch jetzt ein gewisses Interesse**).

Aus allen einschlägigen Mitteilungen ist deutlich zu ersehen, dass die atmosphärischen Niederschläge mit ausserordentlicher Regelmässigkeit Ammoniak und Salpetersäure zu enthalten pflegen. Die vorhandenen Abweichungen für die einzelnen Beobachtungsorte und -Zeiten sind jedenfalls nur z. T. auf die Unsicherheit der Bestimmungsmethode, auf Versuchsfehler etc. zurückzuführen. Die atmosphärischen Niederschläge sind also je nach der Art ihres Entstehens verschieden reich an Ammoniak und Salpetersäure.

Der Gehalt eines Niederschlags an Ammoniak wie an Salpetersäure scheint im allgemeinem um so reicher zu sein, je länger ein solcher in Berührung mit der Atmosphäre war. Rasch niederfallende Regen sind verhältnismässig arm, nebelartige Regen und der Nebel selbst sind verhältnismässig reich an Ammoniak und Salpetersäure. Der Regen scheint ferner im Anfang seines Niederfallens am reichsten, später ärmer an diesen stickstoffhaltigen Stoffen zu sein, da alsdann die Luft eben durch diesen Regen mehr von diesem Stoffe gereinigt ist***).

säure ist schon im Jahre 1750 durch Marggraff als Bestandteil der Atmosphäre, speziell des Schnees, erkannt worden (C. Engler: Histor. Krit. Studien üb. d. Ozon. Halle 1879, p. 63). — Vergl. auch Goppelsroeder: J. f. pr. Ch., 1871, B. 4, p. 139.

*) Ältere Angaben mit offenbar zu hohen Resultaten sind hierbei ausser Beachtung gelassen. Neuere Angaben namentlich bei Kellner: Landw. Jahrb., 1886, p. 701; Warington: Chem. Soc., 1889, p. 537; Petermann: Bulletin 47 et 52.

**) Die maassgebenden Zahlen sind grösstenteils zu finden in Landw. Centralbl., 1857, B. I, p. 413; 1858, B. II, p. 165; 1865, B. I, p. 46. Journal f. pr. Ch., 58, p. 373; 95, p. 318; ferner ziemlich vollkommen zusammengestellt Heiden: Düngerlehre, I, p. 318 u. ff.; Knop: Kreislauf etc., II, p. 58 u. ff.; die Boussingault'schen in dessen Agronomie etc., II, 1861, p. 200; ferner O. Kellner: a. a. O.

***) Diese Beobachtung wird für das Ammoniak sehr schön illustriert durch die Boussingault'sche Zusammentstellung (Agronomie, II, p. 232) der Ammoniakgehalte der einzelnen Regengüsse nach der Stärke dieser letzteren.

Regengüsse	von	0	bis	0,5	mm	enthielten	durchschnittlich	2,94	Milliontel	NH_3.
"	"	0,5	"	1,0	"	"	"	1,37	"	"
"	"	1,0	"	5,0	"	"	"	0,70	"	"
"	"	5,0	"	10,0	"	"	"	0,43	"	"
"	"	10,0	"	15,0	"	"	"	0,43	"	"
"	"	15,0	"	20,0	"	"	"	0,36	"	"
"	"	20,0	"	31,0	"	"	"	0,41	"	".

Dieselbe Thatsache tritt hervor durch vergleichende Probenahme am Anfang und am Ende eines Gusses, vergl. ebenda p. 232 u. 241. — Für die Salpetersäure ergiebt sich das

Im Gewitterregen ist nicht mehr Ammoniak enthalten als in dem gewöhnlichen Regen, und nach einigen Angaben sogar weniger Salpetersäure, wie namentlich aus dem Vergleich des Winter- und des Sommerregens hervorgeht. Das Anwachsen dieser Stoffe in den wässrigen Niederschlägen des Winters erklärt sich für diejenigen Orte, wo, wie im nördlichen Deutschland oder in viel stärkerem Grade für Japan, der Sommer die regenreichere Zeit ist, z. T. durch das Auswaschen der Atmosphäre an den betreffenden Bestandteilen, anderenteils durch die geringere Ammoniaktension in der kühleren Jahreszeit*), wodurch der Übergang in Lösung begünstigt wird.

Von einigem Interesse ist ferner das Verhältnis von Ammoniak- und Salpetersäuremengen in den einzelnen Niederschlägen, für welches etwa folgendes angegeben werden kann. In den einzelnen Niederschlägen besteht durchaus kein konstantes Verhältnis zwischen Ammoniak und Salpetersäure. Die Maxima an dem einen Bestandteil treffen durchaus nicht regelmässig mit den Maxima des andern zusammen.

Der durchschnittliche Gehalt der Niederschläge an Salpetersäure ist vielleicht zuweilen etwas grösser**) als der an Ammoniak, jedoch nicht so viel grösser, als ihren respektiven Äquivalenten (54 : 17) entspricht, so dass man gezwungen wird, neben salpetersaurem Ammoniak kohlensaures Ammoniak im Meteorwasser anzunehmen.

Für den Reichtum der Niederschläge fremder Zonen an Ammoniak und Salpetersäure liegen jetzt Angaben vor, die auf nur geringe Unterschiede über die ganze Erdoberfläche weisen.

Vergleichen wir nun die Resultate dieses Befunds mit dem, was die Theorie der Bildung des gebundenen Stickstoffs voraussehen liess, so müssen wir uns sagen, dass sie damit in genügenden Einklang zu bringen ist. Vor allem müssen wir wieder darauf hinweisen, um einen leicht sich ergebenden Irrtum zu vermeiden, als ob all der gebundene Stickstoff, der im Regen und Schnee niederfällt, neu aus freiem Stickstoff durch die früher ins Auge gefassten Prozesse gebildet worden sei. Nicht einmal für die Salpetersäure ist dies der Fall, obschon sie, einmal niedergefallen, durch Bindung an Basen ihre Flüchtigkeit völlig verliert und nicht in die Luft zurückgelangen kann, und noch viel weniger für Ammoniak. Wir können dies schon aus dem Umstande schliessen, dass in der Regel neben salpetersaurem Ammoniak kohlensaures Ammoniak in den Niederschlägen enthalten ist und wir doch keine natürliche Bildungsquelle für dies letztere Salz aus freiem Stickstoff kennen. Gerade dies gefundene Verhältnis von Ammoniak zu Salpetersäure in den wässrigen Niederschlägen zeigt aufs deutlichste, dass das Ammoniak häufig zum grössten Teile als solches vom Erdboden, wo es sich bei der Fäulnis vieler Substanzen, namentlich der tierischen Überreste, entwickelt, entwichen sein muss. Zu einem Teil kann dann auch dies

Gleiche aus den Zusammenstellungen auf p. 312, 315 u. 337—339. Bobierre fand sogar sehr verschiedene Mengen von Ammoniak und Salpetersäure im Regen, wenn er denselben gleichzeitig 7 Meter und 50 Meter über dem Erdboden auffing, und zwar oben viel weniger Ammoniak und etwas mehr Salpetersäure. Ähnliche Regelmässigkeiten bei O. Kellner: a. a. O.

*) Vergl. Schlösing: Compt. rend., 1876, I, Nr. 15.

**) Petermann fand indessen dreimal soviel Stickstoff als Ammoniak denn als Salpetersäure. A. a. O.

Ammoniak durch Ozon in die Sauerstoffverbindungen übergeführt werden*). Die in dem niedergefallenen Wasser enthaltene Salpetersäure giebt daher vielleicht noch eher als das Ammoniak einen Maassstab für die *Neubildung von gebundenem Stickstoff* an die Hand.

Wir dürfen aber die Frage nicht aus den Augen verlieren, von deren Erörterung ausgehend wir den Gehalt der atmosphärischen Niederschläge an stickstoffhaltiger Pflanzennahrung geprüft haben. Wir wollten sehen, auf welche Stickstoffzufuhr eine Pflanze auf unorganischem Boden angewiesen sei; nun sind wir im stande, zu beurteilen, ob wir durch unsere angestellten Betrachtungen der Beantwortung der Frage einen Schritt näher gerückt sind.

Wir haben gefunden, dass alles Regen- und Schneewasser verdünnte, wenn auch homöopathisch verdünnte Lösungen von Ammoniak und Salpetersäure sind. Auf Grund der mitgeteilten Zahlen der Konzentration dieser Lösungen sind nun Berechnungen versucht worden zur Ermittelung der den Pflanzen auf diesem Wege zur Verfügung stehenden Stickstoffnahrung.

Wenn wir die älteren von Boussingault ermittelten Zahlen zu Grunde legen und eine Regenmenge von 72 cm annehmen, so erhalten wir jährlich eine Menge gebundenen Stickstoff von 1,82 kg im Ammoniak,
0,88 „ in der Salpetersäure,
also zusammen 2,7 kg Stickstoff pro Hektar. Ebensoviel fand Kellner in Japan. Acceptieren wir dagegen die weit höheren Zahlen aus dem Laboratorium von Rothamsted, so erhalten wir in Ammoniak und Salpetersäure auf die gleiche Fläche 3,6 kg Stickstoff und noch etwas höher**). Die neuerdings in Gembloux ermittelten Zahlen sind damit in genügender Übereinstimmung.

Wenn wir nun diese oder selbst die höchsten Zahlen, die in der Litteratur vorkommen, zu Grunde legen, so gelingt es leicht, zu zeigen, dass die auf anorganischem Boden wachsende Pflanze von dieser Menge üppig nicht zu gedeihen vermag. Dies lässt sich auf die Weise demonstrieren, dass man die Stickstoffmenge, die eine Pflanze auf solche Weise zugeführt erhält, mit der vergleicht, die sie bei der Üppigkeit des Wachstums, wie wir sie von den landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zu verlangen pflegen, jährlich liefert. Über die Stickstoffmenge, welche die Flächeneinheit bei einer gewöhnlichen intensiveren Bewirtschaftung zu liefern im stande ist, besitzen wir, dank den Boussingault'schen Versuchen, ebenfalls ein gutes Urteil. Dieser ermittelte, dass bei folgendem Fruchtwechsel für die Verhältnisse des Elsass' seiner Zeit folgende Mengen von Stickstoff in den Ernten erhalten werden konnten. Es genügt offenbar nicht, den Stickstoffgehalt einer beliebigen Jahresernte zu ermitteln,

*) Vergl. Houzeau (Boussingault: Agronomie etc., 1860, I, p. 610); auch Zabelin: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 130, p. 34; und Carius: ebenda, B. 174, p. 1. Durch Wolberg wurde neuerdings das Vorkommen von Ozon in der Luft bestritten. Vergl. Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphys., 1890, p. 378.

**) Ältere noch höhere Angaben müssen vermutlich auf ungenaue Bestimmungsmethoden zurückgeführt werden, indem man erst neuerdings einsah, dass saure Flüssigkeiten bei Eindampfen nicht unansehnliche Mengen von NH_3 aus der Flamme und den Laboratoriumsräumen (Baumann a. a. O.) aufzunehmen vermögen.

da dieser wesentlich auf Kosten von Ernterückständen der vorigen Jahre produziert sein kann:

1.	in ungefähr	1100 kg	Kartoffeln	47,2 kg Stickstoff
2.	„ „	1200 „	Weizenkorn	26,8 „ „
	„ „	2000 „	Weizenstroh	9,2 „ „
3.	„ „	4000 „	Kleeheu	86,4 „ „
4.	„ „	1600 „	Weizenkorn	33,2 „ „
	„ „	2500 „	Weizenstroh	11,4 „ „
	„ „	2300 „	Stoppelrüben (mit Blättern)	12,4 „ „
5.	„ „	1000 „	Haferkorn	23,6 „ „
	„ „	1600 „	Haferstroh	5,2 „ „
			5 Ernten	255,4 kg Stickstoff

auf den Hektar, d. i. durchschnittlich 51 kg Stickstoff auf den Hektar.

Wir haben es also in 51 kg Stickstoff mit Mengen zu thun, wie sie alljährlich auf unsern Feldern geerntet werden können, und wie wir sie bei nicht einmal sehr intensiven*) wirtschaftlichen Verhältnissen notwendig unsern Feldern abverlangen müssen. Wir sehen, dass diese Zahlen diejenige Menge Stickstoff, welche die Pflanzen durch wässrige Niederschläge erhalten, auch bei den unbescheidensten Annahmen um das Vielfache übersteigen. Dazu ist ganz unberücksichtigt gelassen, dass den Pflanzen wieder ein Teil des niedergefallenen Stickstoffs mit den Grundwässern verloren gehen kann und in der vegetationslosen Periode wirklich verloren geht.

Hierbei bleibt noch zu erinnern, dass der in dem Boden enthaltene, von früheren Niederschlägen stammende Vorrat an Ammoniak und Salpetersäure der Gültigkeit der angestellten Betrachtung keinen Eintrag thut, denn dieser Vorrat, der doch immer eine endliche Grösse haben muss, kann bloss für eine Reihe von Ernten ausreichen, muss aber dann durch die Anhäufung des Defizits erschöpft werden.

Ganz etwas Ähnliches, wenn auch nicht mit derselben Bestimmtheit, zeigen manche Vegetationsversuche im stickstofffreien Boden, wo die Pflanzen mit Regenwasser begossen wurden oder auch unbedeckt im Freien aufgestellt waren. Der Entzug der stickstoffhaltigen Bestandteile macht sich bei solchen Versuchen immer viel empfindlicher bemerkbar als die Entfernung der organischen Bodenbestandteile**).

Wir können das Resultat, zu dem wir nunmehr gelangt sind, ungefähr in folgender Weise aussprechen:

Der auf völlig unorganischem Boden, dem also keinerlei tierische oder pflanzliche Reste einverleibt worden sind, *wachsenden Pflanze werden durch die Natur alljährlich gewisse Mengen Stickstoff zu Gebote gestellt, die jedoch den An-*

*) Die Stickstoffernten auf gutem Kleyboden in Holland sind z. B. mindestens 50% höher.

**) Hierin liegt ausserdem ein Wink für die Bedeutsamkeit des Humus als Stickstoffquelle, wovon später die Rede sein soll. Um die im Vorhergehenden behandelte Frage drehte sich auch der Hauptsache nach der berühmte Streit zwischen Liebig und seinen Gegnern, unter den Bannern der *Mineraltheorie* einerseits, der *Stickstofftheorie* andererseits. Dieser Streit konnte erst später zum Austrag gebracht werden, weil es ursprünglich an den unentbehrlichen thatsächlichen Belegen gebrach.

forderungen der meisten Gewächse zu einem üppigen Gedeihen und somit einer intensiven Kultur *nicht genügen.* — Hierin liegt einer der Gründe, dass Pflanzen, namentlich Kulturpflanzen, auf einem Boden, der wesentlich nur aus verwitterten Felstrümmern besteht, oder im ausgeglühten Boden nicht üppig zu gedeihen vermögen.

Die wildwachsende Pflanze dagegen befindet sich ganz regelmässig in von den eben willkürlich angenommenen ganz abweichenden Verhältnissen. Dieselbe wurzelt in einem Boden, dem keine Ernten entnommen werden, und erhält in den stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukten einer dahingegangenen Generation eine reichliche Stickstoffnahrung; es kommt ihr so ausser der jährlichen „Stickstoffrente“ auch noch grossenteils der einmal angesammelte, immer wieder von neuem nutzbar werdende Stickstoffvorrat zu gute.

Der die Pflanzen kultivierende Landwirt aber, der jährlich diesen angesammelten Vorrat in der Ernte grossenteils wegnimmt, versetzt durch diesen Eingriff, wenn wir denselben an sich betrachten, die Pflanze in einen ähnlichen Zustand, in dem sie sich auf einem neu occupierten Terrain oder im ausgeglühten Boden befindet. Dieselbe bleibt, wenn der Landwirt nicht auch in einer andern Richtung thätig eingreift, wieder auf die für ein üppiges Gedeihen unzureichende Stickstoffrente angewiesen, da es zu keiner erheblichen Ansammlung an Stickstoffkapital kommen kann. — Aus diesem Gesichtspunkte erklärt sich für die meisten Pflanzen die wirtschaftliche Notwendigkeit der Stickstoffdüngung.

Mit den Sätzen, zu welchen wir durch die vorausgehenden Betrachtungen gekommen sind, mussten wir früher unsere Lehre über die Stickstoffernährung der Kulturpflanzen abschliessen. Nun haben wir aber Kenntnis zu nehmen von sehr wichtigen neuen Entdeckungen auf diesem Gebiete, durch welche der Gegenstand eine wesentlich andere Gestalt erhalten hat. Der Zuwachs der Wissenschaft in dieser Richtung ist thatsächlich so belangreich, dass wir dem Gegenstand eine besondere und mit historischer Einleitung versehene Darstellung zu geben für zweckdienlich erachten müssen.

Die neuesten Untersuchungen auf dem Gebiet der Pflanzenernährung haben nämlich das Resultat gegeben, dass die verschiedenen landwirtschaftlichen Gewächse ihren Stickstoff aus verschiedenen Quellen beziehen.

Die Erfahrungen des landwirtschaftlichen Praktikers sind auch in dieser Beziehung, wie so häufig, der theoretischen Erkenntnis des Satzes vorgewesen. Noch ehe überhaupt die Wissenschaft ihr Augenmerk auf diesen Punkt gerichtet hatte, ja noch ehe es ihr gelungen war, die Pflanzennährstoffe einzeln anzuweisen, ehe also insbesondere über die Quellen des Stickstoffs in der Pflanze klare Begriffe ausgearbeitet waren, wiesen die landwirtschaftlichen Statiker der alten Schule auf die besondere Stellung der kleeartigen Gewächse in der Fruchtfolge. Die Aufgabe, welche sich die landwirtschaftliche Statik*) in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts gestellt hatte und welcher Männer wie Thaer, Wulffen, Kleemann ihre besten Kräfte widmeten, war bekanntlich, durch Messung von Düngung und Ertrag auf dem Felde

*) Vergl. hierüber die sehr gründliche Schrift von G. Drechsler: Die Statik des Landbaus, Göttingen 1869.

auszumachen, wieviel Dünger ein jedes Gewächs bei einem gewissen mittleren Ertrag verbrauchte. Der Zweck, welcher durch die Kenntnis dieser Dinge erreicht werden sollte, war, die Düngung bei einer bestimmten Fruchtfolge so zu bemessen, dass diese in ihrem fruchtbarkeitsvermehrenden Effekte dem fruchtbarkeitsvermindernden der Ernteentnahme vollkommen die Wage hielt, so dass das Ackerland ad integrum restituiert aus der ganzen Sache hervorging, oder dass, wie wir dies heute ausdrücken würden, weder Raubbau noch unnütze Düngerverschwendung statthaben konnten.

Bei dieser Aufgabe nun, deren Lösung naturgemäss daran scheitern musste, dass weder Dünger noch Nährstoffbedarf der Gewächse etwas ist, das mit einem einheitlichen Maassstab gemessen werden kann, da ja beide auf ganz verschiedene Weise sich zusammensetzen aus einer ganzen Reihe von besonderen Nährstoffen, von denen, wie wir später sehen werden, keiner die Stelle des andern zu vertreten vermag, stossen wir schon auf den merkwürdigen Begriff von „bodenbereichernden Gewächsen“. Mitten unter den übrigen Nutzpflanzen, den Getreidearten, den Hackfrüchten, den Handelsgewächsen, denen allen zufolge der feststehenden landwirtschaftlichen Erfahrung eine grössere oder kleinere Menge Dünger aufs Konto geschrieben werden musste, erscheinen plötzlich als Crediteure unter den vielen Debiteuren die Kleearten. Sie brauchen keinen Dünger, sie erzeugen solchen, sie machen den Boden nicht ärmer an Düngestoffen, sie bereichern denselben, und nach dieser Erfahrung*) werden sie getauft.

Trotz der Ungenauigkeit dieser Ausdrucksweise — denn in Bezug auf die später zu besprechenden Aschenbestandteile sind die Pflanzen natürlich alle ausraubend und niemals schaffend — hatte dieselbe doch schon eine gewisse praktische Bedeutung. Die regelmässige Einschaltung der sogenannten bodenbereichernden Gewächse in die Fruchtfolge, deren Stellung gerade zwischen diejenigen, welche die Bodenkraft erfahrungsgemäss am meisten in Anspruch nahmen, erhielt dadurch eine Art von wissenschaftlicher Sanktion und wurde auch bei Neuordnung von Fruchtfolgen, wie sie infolge des zunehmenden Anbaus von Handelsgewächsen nötig wurden, nicht mehr leicht ausser acht gelassen. Die mehr entwickelten jungen Agronomen, welche von den landwirtschaftlichen Akademien in den väterlichen Betrieb heimkehrten, vergassen die sich eines theoretischen Anstrichs erfreuende Klassifikation nicht wieder und wurden häufig in ihrem Thun und Lassen maassgebend für die nähere oder fernere Umgebung.

Einen wissenschaftlich präziseren und darum auch praktisch sehr viel bedeutenderen Charakter erhielt die Sache aber erst um die Mitte unseres Jahrhunderts, nachdem man zu einem grossen Teil auf des genialen Liebig's Antrieb begonnen hatte, den rohen Begriff Dünger in chemisch benennbare Einzelstoffe zu zerlegen. Am deutlichsten aber wohl wiesen zu dieser Zeit die unermüdlichen englischen Untersucher, Lawes und Gilbert, darauf hin, dass bei dem fortdauernden Anbau einer und derselben Getreidesorte auf ungedüngtem Lande der Ertrag an Körnern und Stroh

*) Selbst einige landwirtschaftlichen Schriftsteller der alten Welt machten schon auf die Thatsache aufmerksam, dass man den Boden nach Ernten von Luzerne und Wicken nicht zu düngen brauche; doch sind die verschiedenen darüber keineswegs in Übereinstimmung.

und somit auch der Ertrag an Stickstoff, den man inzwischen als einen der wichtigsten Bestandteile auch der pflanzlichen Organismen erkannt hatte, endlich ein gewisses nur infolge der Jahreswitterung schwankendes Minimum erreiche, dass aber dieser Ertrag regelmässig und erheblich wieder gesteigert werden könne durch — Einschaltung des Kleebaus. Der Klee war somit mit Bestimmtheit als ein insonderheit *stickstoffbereicherndes* Gewächs experimentell nachgewiesen. Gleichzeitig oder früher wurden diese Erfahrungen auch durch Boussingault im Elsass und ebenso auch in Deutschland gemacht, wenn die hier zur Verfügung stehenden Belegmittel auch nicht, weder zeitlich noch örtlich, so ins imponierend Grosse gingen.

Von einer Bereicherung an Aschenbestandteilen konnte in dieser Zeit, wo man über den Bedarf an denselben und deren Quellen ein klares Urteil zu gewinnen angefangen, natürlich auch beim Klee nicht mehr die Rede sein, und so war von da an alle Aufmerksamkeit auf den Stickstoff gerichtet. Wenn es nun auch noch mehrere Decennien dauern sollte, bis man auch in Bezug auf die geheimen Quellen dieses Nährstoffs ein begründetes Urteil gewann, so war mit diesem Fortschritt in der Erkenntnis doch auch praktisch ein bedeutender Schritt vorwärts gethan. Erschien es nach der vagen Erkenntnis der alten Statiker noch als eine Verschwendung, ein bodenbereicherndes Gewächs wie den Klee noch zu düngen*), so galt dies Verbot jetzt nur noch für die Stickstoffdüngung und also allerdings in der Regel auch für den Stallmist, der ja zu den relativ stickstoffreichen Düngemitteln gehört. Dagegen konnte man ruhig stickstofffreien Handelsdünger auch für dieses Gewächs versuchsweise empfehlen, umsomehr als man ein Interesse daran hatte, demselben gerade wegen des gerühmten Einflusses seiner Ernterückstände auf die folgende Ernte eine möglichst üppige Entwickelung zu verschaffen. Die Einführung des Superphosphates, eines stickstofffreien Handelsdüngers, für den Kleebau ist als eine Errungenschaft dieser Erkenntnisstufe zu betrachten, und so sehr fiel diese wichtige Neuerung, nach welcher die wichtige Kultur auf leichteren Bodenarten erst möglich wurde, in den Geschmack der Landwirte, dass der genannte Dünger in manchen Gegenden den feststehenden Namen von Kleeguano**) erhielt. Auch der Gips würde sich hier anreihen, wenn in Bezug auf denselben nicht die Natur sich stärker erwiesen hätte als die Lehre und derselbe schon von den Ritters von Kleefeld Zeiten her als ein Spezifikum für Kleebau gegolten hätte. Aber während er sich bis dahin mit der Rolle eines Reizmittels, das wenig in die sonstige Düngerlehre passte, begnügen musste, gab jetzt die Theorie seiner Anwendung eine gewisse Stütze.

Hatte die Präzisierung der Nährstoffersparnis durch den Kleebau, der genauere Hinweis, dass es sich in diesem Falle ausschliesslich um den Stickstoff handele, an der einen Seite zu wichtigen praktischen Folgerungen geführt, so war diese selbe Errungenschaft auch andererseits wieder der Ausgangspunkt für neue theoretische

*) Wenn man Stalldünger verwandte, so geschah dies mehr z. B. vor Eintritt des Winters, um dem Klee Frostschutz zu gewähren. Vergl. Thaer: Grunds. d. ration. Landw., IV, 1812, p. 259.

**) In den holländischen Provinzen Nordbrabant und Seeland und in einem Teile von Belgien.

Fragestellungen, deren endgültige Erledigung neuen und weit grösseren praktischen Gewinnst in Aussicht stellte. *Der Grund jener Stickstoffersparnis durch den Klee musste aufgeklärt werden.*

Wenn bis dahin nur vom Klee die Rede und darunter in erster Linie der rote Klee zu verstehen war, so ergaben bald analoge praktische Erfahrungen, dass auch andere landwirtschaftlich benutzte Kleearten, zunächst der hinsichtlich der physikalischen Bodeneigenschaften minder wählerische Weissklee, dann aber auch die einem anderen Geschlechte angehörige Luzerne sich offenbar ganz ähnlich verhielten, und bald wurden auch die zu der gleichen Gruppe der Schmetterlingsblütigen gehörigen, aber landwirtschaftlich der Samen wegen angebauten Pflanzen, namentlich die Bohnen und die Erbsen, wenn auch vielleicht nach ziemlich oberflächlicher Begründung, mit in diesen Kreis hereingezogen. Je weiter man aber die Grundlage der Frage erfahrungsgemäss prüfte, umsomehr erschien die in Rede stehende Besonderheit der Stickstoffernährung eine der ganzen Familie zukommende Eigenschaft zu sein.

Um nun hinter die naturwissenschaftliche Ursache der fraglichen Erscheinung zu kommen, hat man sich zunächst die Frage gestellt, ob die Schmetterlingsblütigen im Gegensatz zu anderen Pflanzenfamilien den freien Stickstoff der Luft aufzunehmen und zu verarbeiten vermöchten; oder besser gesagt, derartige Versuche waren schon vorher, namentlich von seiten des berühmten französischen Agrikulturchemikers Boussingault, unabhängig von dieser Fragestellung in Gang gesetzt worden. Die Frage nach der Stickstoffernährung der Gewächse war ja eine von ganz allgemeiner und grundlegender physiologischer Wichtigkeit und diese Frage war und wurde noch erörtert in sehr breit und umsichtig angelegten Experimenten, bei denen auch die Papilionaceen nicht fehlen durften. Klee und Bohnen waren neben anderen Kulturgewächsen regelmässig Gegenstand dieser Untersuchungen. Aber durch die besonders brennende Fragestellung, die nun hinzugekommen war, wurden die Resultate der jährlich unter verschärfter Kontrolle fortgesetzten Versuche mit besonderem Interesse in dieser Richtung durchgemustert.

Das Resultat der Boussingault'schen Versuche, welche auch in den meisten anderen Kulturländern mit übereinstimmenden Resultaten wiederholt worden sind, haben wir in den vorigen Vorlesungen besprochen. Es war keine Assimilation des Stickstoffs der Luft nachzuweisen, weder durch Papilionaceen, noch durch andere Kulturgewächse. Der vereinzelte Widerspruch eines französischen Forschers, G. Ville, gegen dieses Versuchsergebnis verhallte ungehört; aber auch dieser beabsichtigte keineswegs, den Schmetterlingsblütigen eine Sonderstellung anzuweisen, ist also ohne alle Beziehung zu der uns hier interessierenden Frage.

War die Sache nicht zu erklären aus der Assimilation von freiem Stickstoff, so hatten der Klee und Konsorten vielleicht ein spezifisches Organ, um sich die Ammoniakdünste der Atmosphäre zu eigen zu machen. Auf diese Stickstoffquelle war besonders durch Liebig hingewiesen worden, der ja als Verfechter der die ganze Produktion beherrschenden Aschenbestandteile den Stickstoff zu einem atmosphärischen Nahrungsmittel gleich der Kohlensäure hinabzudrücken eine entschiedene Neigung hatte. A. Stöckhardt, der getreue Schüler und Apostel des Meisters, veranlasste, von dieser Erwägung ausgehend, Peters im Jahre 1858, einen Versuch mit der ge-

wöhnlichen Schminkbohne (Phaseolus vulgaris) vorzunehmen, ob durch die oberirdischen Teile dieser Pflanze künstlich zugeführtes Ammoniak aufgenommen und verarbeitet werden könnte. Dieser Versuch, der erst durch J. Sachs zu Ende geführt wurde, hatte allerdings ein positives Ergebnis*); aber spätere ausgedehntere und kritischer angelegte Versuche**) zeigten, wie schon früher besprochen, dass diese Art der Aufnahme für die Schmetterlingsblütigen durchaus keine Eigentümlichkeit sei, sondern auch anderen Pflanzen zukomme, und ausserdem bei der Geringfügigkeit des Ammoniakgehalts der gewöhnlichen Luft praktisch kaum eine grosse Bedeutung haben dürfte, so dass die landwirtschaftliche Stellung der Papilionaceen nach wie vor als ein ungelöstes Rätsel erschien.

So blieb die Frage eine offene***) bis zum Jahre 1886, wo Hellriegel†) mit seinen Versuchen an die Öffentlichkeit trat und durch seine schlagende Beweisführung alle Welt in Erstaunen setzte. Der Autor dieser Vorlesungen war selber zugegen bei jener denkwürdigen Sitzung der Sektion für landwirtschaftliches Versuchswesen auf der Naturforscherversammlung in Berlin, da Hellriegel die von ihm gewonnenen

*) Vergl. Chem. Ackersmann, 1860, p. 159.

**) Adolf Mayer: Landw. Versuchsst., 17, p. 329.

***) Allerdings hatten einzelne Forscher, wie z. B. der amerikanische Agrikulturchemiker Atwater, entschiedenen Stickstoffzuwachs bei Leguminosen nachgewiesen, aber waren doch schliesslich zu sehr im Autoritätsglauben stecken geblieben.

†) Hermann Hellriegel, geb. 21. Oktober 1831 bei Pegau im Königreich Sachsen, hatte schon — ganz abgesehen von seiner praktischen Thätigkeit, deren Verdienstlichkeit wir hier nicht zu beleuchten haben — als Vorstand der Versuchsstation zu Dahme in der Provinz Brandenburg von 1857—1873 durch die Ausführung wohlgeplanter und umsichtig ausgeführter Vegetationsversuche an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sich unter den Fachgenossen den Namen eines kenntnisreichen, unermüdlichen und zuverlässigen Forschers erworben. Da glaubte er sich durch Rücksichten seiner Familie gegenüber verpflichtet, seine Stellung mit einer anderen mehr gesicherten zu vertauschen und seine segensreiche Thätigkeit als glücklicher Experimentator jener sittlichen Verpflichtung aufzuopfern. Dergleichen Opfer haben auch andere bringen müssen, und hierin ist nichts Aussergewöhnliches zu bemerken.

Aber, was wohl aussergewöhnlich ist und Hellriegel charakterisiert, ist, dass, nachdem seine wohlvorgebildeten Kräfte ein Jahrzehnt hindurch in dieser Richtung brachgelegen, er unter inzwischen sich günstig gestaltenden äusseren Umständen seine alte Aufgabe wieder aufnimmt und an ihr fortarbeitet, als sei nie eine Störung eingetreten. Das ist nur möglich bei einem Manne, der seine Lebensaufgabe erkannt und stets bereit ist, seine beste Lebenskraft für dieselbe einzusetzen und auch, wo dieselbe schon geschmälert ist, den kostbaren Rest für gerade gut genug achtet, um jene zu vollenden. Das ist nur möglich bei einer ideal angelegten Natur, die ebenso gross und stark ist in ihrem Wollen als ergeben in das Schicksal des eigenen Ich.

Im Jahre 1883 bekam Hellriegel mit der Errichtung einer Versuchsstation zu Bernburg die Hände wieder frei, und unmittelbar begann er seine ausgedehnten Versuche an demselben Punkte wieder, wo er sie verlassen hatte. Zunächst prüfte er die alten Resultate an den inzwischen verbesserten Methoden, bearbeitete dieselben und gab sie heraus in seinen vortrefflichen „Beiträgen zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus“ (Braunschweig 1883), ein wertvolles und keineswegs, wie die Besorgnis des Autors selber fürchten liess, veraltetes Buch. Dann ging's frisch an die Fortsetzung der Arbeit, die so ungeahnt bald zu der epochemachenden Entdeckung führen sollte, um welche sich unsere ganze Darstellung bewegt.

Resultate in seiner einfachen und anspruchslosen Art demonstrierte und seine Versuchspflanzen herumgab, und erinnert sich nicht eines grösseren Eindrucks auf eine zahlreiche wissenschaftliche Versammlung, einer gleichmütigeren Zustimmung seitens aller Anwesenden. Jeder, der zugegen war, hatte das Gefühl, dass eine brennende Frage ebenso unerwartet wie endgültig gelöst worden sei, kurz dessen, was man eine Epoche zu nennen pflegt.

Robert Bunsen sprach irgendwo vertraulich aus, dass er seine zahlreichen wichtigen Entdeckungen nicht gemacht habe in dem vorgefassten Plane, einen gewissen Gegenstand aufzuklären, sondern in der treuen Verfolgung einer relativ zufälligen mit der bisherigen Wissenschaft streitigen Beobachtung, und diese Bemerkung erscheint jedenfalls richtig für Wissenschaftsgebiete, die sich gleich der Chemie oder gar der Pflanzenphysiologie noch in der Kindheit befinden. Der gewöhnliche Gang planmässiger Beobachtungen wird gestört durch etwas Unerwartetes, welches im Augenblick als etwas sehr Unbequemes erscheint. Ein der überkommenen Routine folgender Wahrnehmer wird dadurch zurückgeschreckt und schliesst seine Arbeit vorzeitig ab. Das Genie des Entdeckers wird durch das Ungewöhnliche auch zur ungewöhnlichen Arbeitsleistung angespornt und unter seinen wuchtigen Hammerschlägen wird der Stein des Anstosses zum Eckstein eines neuen Gebäudes. Derselbe gleicht immer Saul, der ausging, seines Vaters Eselinnen zu suchen, und ein Königreich mit nach Hause brachte. So ging es auch mit Hellriegel*). Er wollte nur den Nähreffekt bestimmter Nährstoffe so genau wie möglich bestimmen in der Form bestimmter Mengen von organischer Trockensubstanz. Bei dieser Aufgabe geriet er bei den Papilionaceen auf unerklärliche Ungleichheiten und Widersprüche. Nährende Stickstoffverbindungen, deren Zufügung bei den Gramineen immer ganz regelmässige Produktionszunahme ergab, erwiesen sich bei den Schmetterlingsblütigen bald als nötig, bald als überflüssig**). Ein nur auf einen leidlichen Ab-

*) „Nicht eine Braut zu suchen ging ich aus", sagt Hellriegel auf der ersten Seite seiner grossen abschliessenden Publikation vom Jahre 1888. Wörtlich: „Es waren weder der Ehrgeiz, etwas Neues zu schaffen, noch die Sucht, überall Bakterien zu sehen, sondern einige ganz gelegentlich gemachte auffällige Beobachtungen, die uns zu einer Arbeit drängten, die von uns ursprünglich gar nicht beabsichtigt war".

**) Einige Versuchsergebnisse von E. v. Wolff, die gleichzeitig mit den Resultaten Hellriegel's mitgeteilt wurden, sprechen in dieser Beziehung besonders deutlich. Dieselben weisen so klar als möglich die spezifische Stellung der Leguminosen gegenüber dem Stickstoff nach und zeigen, wie weit man im Jahre 1886 in der bloss empirischen Erörterung dieser Thatsachen gekommen war.

	Relative Erntegewichte	
	von Hafer	von Erbsen, Bohnen, Klee
Ohne Düngung	187	589
Mineraldüngung	210	1292
Mineral- und Stickstoffdüngung	618	1147
Desgleichen, mehr Stickstoff	1836	1152.

Man sieht, die Cerealie reagiert kaum auf Mineraldüngung allein, ihr Ertrag wird ganz und gar beherrscht durch das Mehr oder Weniger von anwesendem Stickstoff. Umgekehrt reagieren die meisten Leguminosen gar nicht auf die Zufuhr dieses letzteren in Düngerform,

schluss seiner Arbeit bedachter Experimentator wäre der unbequemen Pflanzenfamilie aus dem Wege gegangen. Aber Hellriegel liess es keine Ruhe, bis er auch diese Widerspenstigen unter klare und einfache Gesetze gezwungen hatte, und dieses Resultat ist eben die epochemachende Entdeckung.

Die Resultate der Hellriegel'schen Arbeiten, die schon im ersten Jahre 1886 deutliche Resultate ergeben hatten, aber dann noch zwei weitere Jahre 1887 und 1888 fortgesetzt wurden, lassen sich in den folgenden Sätzen zusammenfassen*), in denen sie in der That von dem Autor zusammengefasst worden sind. Die Darstellung ist in der That so reserviert, so frei von subjektiver Färbung, dass Autor und Referent sich genau derselben Worte bedienen können. Nur an wenig Punkten hat später die Kritik einzusetzen versucht, aber jedesmal unter vollständigem Scheitern des Angriffs. Auch unsere eigene kritische Besprechung, die wir natürlich der Sache schuldig sind und die wir diesen Sätzen folgen lassen müssen, werden nicht im stande sein, an denselben irgend welche Änderungen von Bedeutung anzubringen, sondern höchstens die Tragweite derselben in ein noch helleres Licht zu rücken berufen sein.

I.

1. In einem stickstofflosen Boden war die Assimilation und Produktion der von uns geprüften Cerealien, Hafer und Gerste, gleichgültig ob derselbe sterilisiert war oder nicht, immer nahezu gleich Null.

2. Durch Zugabe von Nitraten zum Boden liess sich aber allezeit ein normales Wachstum dieser Pflanzenarten hervorrufen und zwar stand dann die Entwickelung derselben immer in annähernd direktem Verhältnisse zu der Menge des gegebenen Nitrates.

3. Solange sich die Nitratgaben innerhalb der Grenzen bewegten, in welchen sich der Stickstoffgehalt des Bodens als Wachstumsfaktor im Minimum befand, wurde durch einen Teil Bodenstickstoff immer annähernd der gleiche Ertrag und zwar 90 bis 100 Teile oberirdischer Trockensubstanz produziert.

4. In den Ernten der Gerste und des Hafers, gleichgültig ob sie in einem stickstofflosen, stickstoffarmen oder stickstoffreichen Boden gewachsen waren, wurde niemals mehr oder auch nur ebensoviel Stickstoff wiedergefunden, als in dem Boden bei Beginn des Versuchs in Form assimilierbarer Stickstoffverbindungen vorhanden war.

5. Nichts deutete darauf hin, dass die Cerealien eine bemerkenswerte Quantität ihrer Stickstoffnahrung aus einer anderen Quelle als dem Boden schöpften oder zu schöpfen vermochten.

II.

1. In einem stickstofflosen sterilisierten und sterilisiert erhaltenen Boden verhielten sich die zu unsern Versuchen benutzten Leguminosen, Erbsen, Serradella und Lupinen, den Cerealien vollkommen gleich.

sondern entwickeln sich ebenso stark bei einer Mineraldüngung. Dies letztere ist freilich nur wahr unter besonderen Umständen, auf welche uns die Hellriegel'schen Entdeckungen weisen werden. Vergl. auch Fig. 12 auf Seite 204.

*) Vergl. Hellriegel und Wilfarth: Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen, Beilageheft zu der Zeitschrift des Vereins f. d. Rübenzucker-industrie, November 1888.

2. Wachstum und Assimilation waren in diesem Falle auch bei ihnen immer ungefähr gleich Null.

3. Durch Zugabe von Nitraten zum Boden liessen sich dieselben aber zur Entwickelung bringen und die Produktion stand dann in annähernd direktem Verhältnisse zu der Menge des gegebenen Bodenstickstoffs, solange sich der letztere als Wachstumsfaktor im Minimum befand.

4. In den Ernteprodukten war ein bemerkenswertes Plus von Stickstoff, welches aus anderen Quellen als dem Boden hätte stammen können, nicht aufzufinden.

5. Der bekannte Boussingault'sche Fundamentalversuch*) ist unter diesen Verhältnissen ausgeführt, und die Schlüsse, die aus demselben gezogen werden, haben nur für diesen Fall (sterilisierten Boden) Gültigkeit.

III.

1. In einem nicht sterilisierten Boden aber vermochten die Leguminosen unter gewissen Umständen zu wachsen, auch wenn derselbe frei war von assimilierbaren Stickstoffverbindungen oder nur Spuren derselben enthielt, und zwar insbesondere dann, wenn die Versuchskulturen während der Vegetation unbedeckt im Freien gehalten wurden, und sicher dann, wenn man dem stickstofflosen Bodenmaterial den durch Anrühren mit destilliertem Wasser und Absetzenlassen bereiteten Aufguss von einer geringen Menge (1—2‰) eines zweckmässig gewählten Kulturbodens beigab.

2. Die Leguminosen brachten es im letzteren Falle nicht nur in der Regel zu einer durchaus normalen, sondern ausnahmsweise bisweilen zu einer auffallend üppigen Entwicklung und

3. in den Ernteprodukten derselben liess sich stets ein entschiedenes, häufig sehr hohes Stickstoffplus nachweisen, welches aus dem Boden nicht stammen konnte.

4. Ein ähnlicher, wenn auch minder ausgiebiger Stickstoffgewinn wurde nach Zugabe von Bodenaufguss durch die Leguminosen auch dann erzielt, wenn der Boden nicht völlig stickstofflos war, sondern eine gewisse, aber für ihre Bedürfnisse nicht ausreichende Quantiät Nitrate enthielt.

5. Die Cerealien dagegen zeigten in einem stickstofflosen Boden, auch wenn derselbe nicht sterilisiert war, niemals eine Neigung zum Wachsen und niemals einen bemerkbaren Stickstoffgewinn. Eine Zugabe von Bodenaufguss blieb bei Hafer und Gerste in beiden Beziehungen ohne jede merkbare Wirkung.

IV.

1. Der eigentümliche, sehr bedeutende Einfluss, den die Zugabe von einer geringen Menge Bodenaufguss auf das Wachstum und die Stickstoffaufnahme der Leguminosen ausübte, liess sich nicht erklären durch den Gehalt des letzteren an Stickstoff oder anderen Pflanzennährstoffen.

2. Wenn der Bodenaufguss gekocht oder auch nur einer Temperatur von 70° C. ausgesetzt wurde, so verlor er seine Wirksamkeit gänzlich und ausnahmslos.

3. Ein und dieselbe Leguminosenart wurde durch Bodenaufgüsse verschiedener Herkunft sehr ungleich beeinflusst, und ein und derselbe Bodenaufguss wirkte auf

*) p. 166 und 197.

verschiedene Leguminosenarten durchaus verschieden. — So beförderte der Aufguss von einem vorzüglichen Zuckerrübenboden, in welchem Erbsen und verschiedene Kleearten seit langer Zeit in die regelmässige Fruchtfolge eingeschoben, Serradella und Lupinen aber noch niemals angebaut waren, das Wachstum und den Stickstoffgewinn der Erbsen sicher und in bedeutendem Grade, hatte aber in der geringen Menge, in der wir ihn verwendeten, für die Entwickelung der Serradella und Lupine nie den geringsten Effekt.

4. Das durch Zufuhr von Bodenaufguss bedingte Wachstum der Leguminosen in einem stickstofflosen Bodenmaterial unterschied sich von der Vegetation derselben in einem sterilisierten, mit Nitraten versehenen Boden wesentlich und äusserlich sichtlich dadurch, dass im ersten Falle nach der Keimperiode in der Regel ein eigentümlicher, von sehr charakteristischen Erscheinungen begleiteter Hungerzustand der Pflanzen eintrat, welchem dann nach kürzerer oder häufig auch erst längerer Zeit eine sehr energische und rasche Entwickelung folgte.

V.

1. In sterilisiertem und während der Vegetationszeit steril erhaltenem oder mit einem unwirksamen Aufgusse versehenem Boden wurde das Auftreten von Wurzelknöllchen bei den Leguminosen nicht bemerkt, gleichgültig, ob der Boden stickstofflos war und die Pflanzen darin langsam verhungerten oder ob derselbe mehr oder weniger Nitrate enthielt und die Pflanzen infolgedessen eine mehr oder weniger gute Entwickelung erreichten.

2. In nicht sterilisiertem, mit einem wirksamen Bodenaufguss versetzten Bodenmateriale war dagegen die Bildung normal entwickelter Wurzelknöllchen stets nachweisbar und mit dieser war eine erhebliche Assimilation von Stickstoff, dessen Quelle im Boden nicht zu suchen war, immer verbunden. — Auch hier traten Knöllchenbildung und Stickstoffgewinn nicht nur in stickstofflosem Boden, sondern auch dann ein, wenn derselbe eine gewisse, aber für die Bedürfnisse der Pflanze unzureichende Menge Nitrate enthielt, und waren in letzterem Falle nur quantitativ geringer.

3. Bei ein und derselben Leguminosenpflanze liess sich an der einen Hälfte des Wurzelsystems die Knöllchenbildung hervorrufen, an der anderen verhindern dadurch, dass man die erstere in eine stickstofflose, mit etwas Bodenaufguss vermischte und nicht sterilisierte, die andere in eine ganz gleich zusammengesetzte, aber durch Kochen sterilisierte Nährlösung eintauchen liess.

4. Die Bildung der Wurzelknöllchen erfolgte nicht nur in einem sehr frühen Entwickelungsstadium der Pflanzen, sondern war auch in dem vorbezeichneten Hungerzustande nachweisbar, in welchem die Pflanzen, um ihr Leben zu fristen, ihre notwendigsten Assimilationsorgane resorbieren mussten; ein sichtliches Wachstum der Leguminosen in stickstofflosem Boden fand immer erst nach Entwickelung der Wurzelknöllchen statt.

VI.

Lebhaftes Wachstum der Leguminosen mit erheblicher Stickstoffassimilation in stickstofflosem Boden liess sich auch dann erzielen, wenn man sie in einer von Stickstoffverbindungen gereinigten Atmosphäre oder in einem beschränkten Luft-

volumen vegetieren liess, welches ihnen nur Spuren gebundenen Stickstoffs liefern konnte.

Aus diesen rein objektiven Ergebnissen wird dann weiter geschlossen:

1. Die Leguminosen verhalten sich bezüglich der Aufnahme ihrer Stickstoffnahrung von den Gramineen prinzipiell verschieden.

2. Die Gramineen sind mit ihrem Stickstoffbedarf einzig und allein auf die im Boden vorhandenen assimilierbaren Stickstoffverbindungen angewiesen und ihre Entwickelung steht immer zu dem disponiblen Stickstoffvorrate des Bodens in direktem Verhältnisse.

3. Den Leguminosen steht ausser dem Bodenstickstoff noch eine zweite Quelle zur Verfügung, aus welcher sie ihren Stickstoffbedarf in ausgiebigster Weise zu decken, resp. soweit ihnen die erste Quelle nicht genügt, zu ergänzen vermögen.

4. Diese zweite Quelle bietet der freie, elementare Stickstoff der Atmosphäre.

5. Die Leguminosen haben nicht an sich die Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, sondern es ist hierzu die Beteiligung von lebensthätigen Mikroorganismen im Boden unbedingt erforderlich.

6. Um den Leguminosen den freien Stickstoff für Ernährungszwecke dienstbar zu machen, genügt nicht die blosse Gegenwart beliebiger niederer Organismen im Boden, sondern ist es nötig, dass gewisse Arten der letzteren mit den ersteren in ein symbiotisches Verhältnis treten.

7. Die Wurzelknöllchen der Leguminosen sind nicht als blosse Reservespeicher für Eiweissstoffe zu betrachten, sondern stehen mit der Assimilation des freien Stickstoffs in einem ursächlichen Zusammenhange.

Vierzehnte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanze (Fortsetzung). — Die Stickstoffassimilation der Schmetterlingsblütigen.

Hellriegel unterscheidet, wie aus der Darstellungsweise, welche wir am Schlusse der vorigen Vorlesung wörtlich wiedergegeben haben, mit einer Sorgfalt, die klassisch genannt zu werden verdient, zwischen seinen objektiven Versuchsresultaten und den daraus sich ergebenden Schlüssen von etwas subjektiverer Färbung. Auch in den letzteren ist das hypothetische Moment so viel wie irgend möglich unterdrückt.

Je mehr wir uns bei der grossen Ausdehnung unseres Lehrstoffs darauf beschränken müssen, im allgemeinen flüchtig die Hauptresultate der Forschung mitzuteilen, um so lieber habe ich wieder ein solches Beispiel sorgfältigster Forschung benutzt, um zu allen Details der Beweisführung hinabzusteigen und so Anteil zu nehmen an jedem einzelnen Schritte welcher zur Erlangung feststehender Resultate gegangen werden muss.

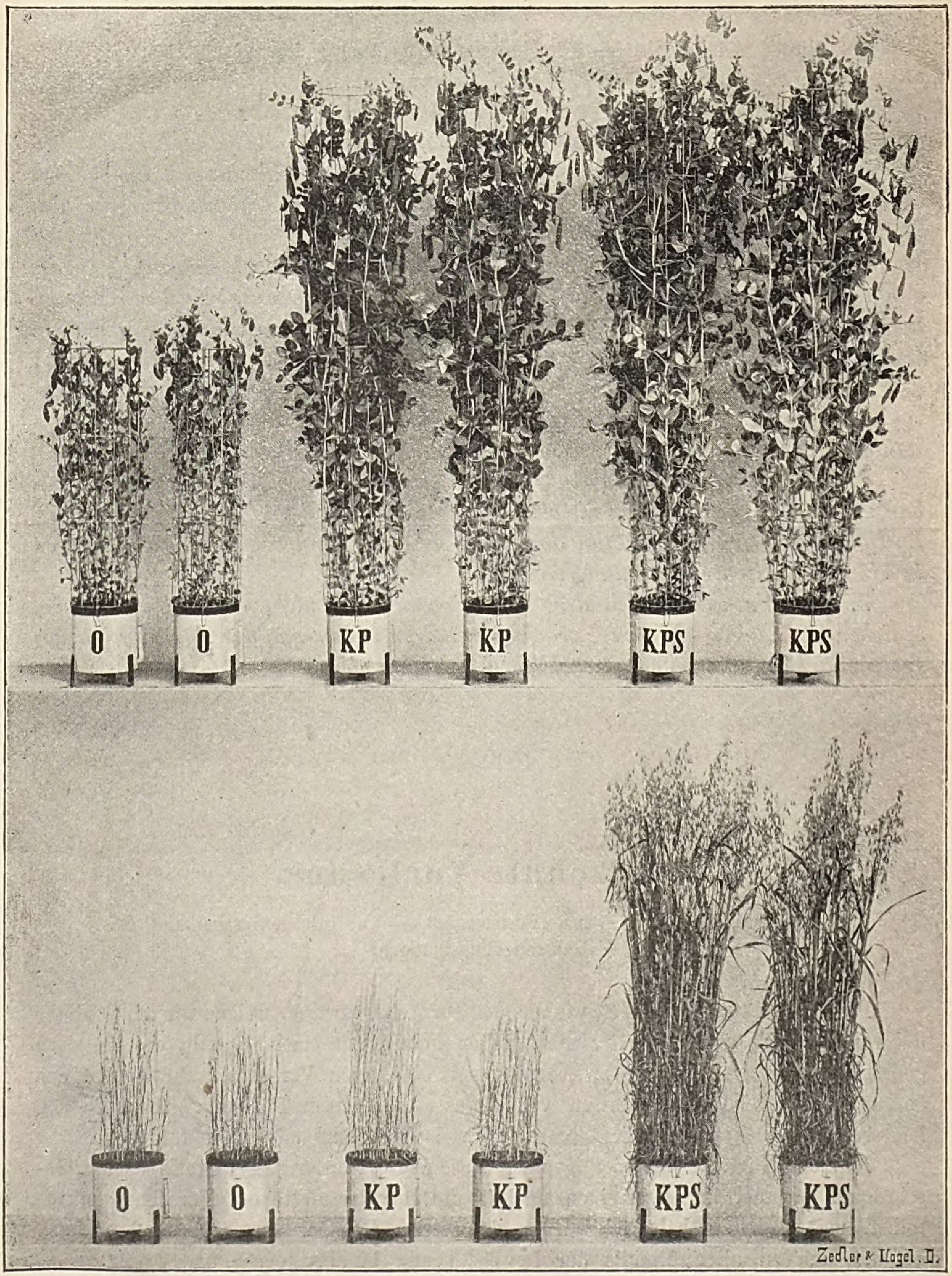


Fig. 12. — O ungedüngt, KP mit Aschenbestandteilen gedüngt, KPS mit Aschenbestandteilen und Stickstoff gedüngt, nach P. Wagner.

Lassen Sie uns nun kritisch denselben Weg noch einmal zurücklegen. Der Gegenstand ist wichtig genug, um diese Mühe zu rechtfertigen.

Die Hellriegel'schen Versuchsergebnisse sub I beschreiben den Zustand der Abhängigkeit zweier Getreidearten von der Stickstoffernährung. Zugeführter Stickstoff erzeugt bei denselben, wenn anders nicht schon Überschuss an diesem Nährstoffe vorhanden ist, die beinahe hundertfache Mehrerzeugung von Trockensubstanz.

Qualitativ ebenso verhalten sich nach den Sätzen sub II die drei zu Versuchen benutzten Papilionaceen in sterilisiertem Boden.

Ganz anders ist der Zustand dieser Versuchspflanzen nach den Sätzen sub III und IV Alinea 1 in nicht sterilisiertem oder solchem Boden, dem eine vorläufig geheimnisvolle, aber durch Erhitzen zu vernichtende, quantitativ nicht ins Gewicht fallende Substanz zugesetzt worden war. Hier bringen es die Papilionaceen auch ohne Ernährung durch zugesetzte Stickstoffverbindung zu normalen Produktionen, während für die Getreidearten solche Zufügungen oder das Unterlassen des Sterilisierens ganz gleichgültig sind. Die Tragweite dieses Satzes dürfte durch Beifügung einiger Abbildungen von Düngungsversuchen nach der später in der Düngerlehre zu beschreibenden Methode von P. Wagner besonders deutlich werden. Vergl. Fig. 12.

Unter IV Alinea 2 und 4 folgen dann genauere Angaben über die Sterilisierungstemperatur und über das Hungerstadium, welches dem eigentümlichen Stickstofferwerb der Schmetterlingsblütigen vorherzugehen pflegt.

Unter IV Alinea 3 die namentlich praktisch sehr wichtige Beobachtung, dass es für verschiedene in diese Kategorie gehörige Pflanzen verschiedene Impfstoffe giebt.

Unter V sind dann die Sätze zusammengestellt, welche die Knöllchenbildung an den Wurzeln der betreffenden Pflanzen mit zwingender Notwendigkeit in Beziehung bringen zu der eigentümlichen Stickstoffernährung.

Endlich bringt VI das Resultat des wichtigen Versuchs, wobei eine Erbsenpflanze bei *beschränktem Luftzutritt* nach denselben Grundsätzen und mit demselben Resultate erzogen wurde. Dieser Versuch ist deshalb so wichtig, weil derselbe die sparsam in der Luft vorkommenden Stickstoffverbindungen als gänzlich unbeteiligt bei dem fraglichen Vorgange beseitigt.

So weit sind es einfache Erfahrungssätze, induktive Sätze, wie der Logiker sie nennt, die nur bemängelt werden können, wenn man an den Versuchen selbst etwas zu erinnern hat.

Dann folgen die Schlussfolgerungen, in welchen auch das hypothetische Moment allerdings sehr schwach vertreten ist. Im übrigen sind die Versuchsresultate nur noch einmal in kondensierter Form wiedergegeben. Aber Satz 4, worin gezeigt wird, dass der freie, elementare Stickstoff als Nährstoffquelle für die Schmetterlingsblütigen dienen könne, geht einen Schritt weiter wie die unmittelbare Erfahrung. Durch keinen Versuch Hellriegel's, auch nicht im Versuch 384 im hermetisch verschlossenen Ballon, wurde direkt die Verminderung des freien Stickstoffs oder gar eine Verminderung, welche quantitativ mit dem erworbenen Pflanzenstickstoff übereinstimmte, festgestellt. Der Schluss ist gemacht „per exclusionem".*) Stickstoffverbindungen im Boden, im

*) Direkt wurde später der Beweis geliefert durch eine elegante Versuchsführung von Schlösing Sohn und Laurent. Hierdurch ist zunächst bestätigt, dass an dieser Stelle eine

Wasser, in der Luft, in allen Medien, mit denen die Pflanze in Berührung kommt, sind ausgeschlossen. Es bleibt keine andere Quelle mehr übrig als die des freien Stickstoffs, und somit erscheint auch diese Schlussfolgerung durchaus zwingender Natur, da keine andere Wahl möglich*).

Lücke in der Beweisführung vorhanden war und sodann — was die Hauptsache ist — endgültig bewiesen, dass der Stickstoff der Luft das Rohmaterial liefert für die Stickstoffvermehrung in der Leguminosenpflanze. Die genannten Forscher experimentierten so (Compt. rend., T. 111, p. 750, Referat in Biedermann's Centralblatt, 1891, p. 542), dass sie Zwergerbsen im geschlossenen Raum kultivierten und dem Raum von Zeit zu Zeit Gas zur Analyse entnommen wurde. Je nach dem Ergebnis dieser Analyse wurde Sauerstoff aus dem Raume entfernt und Kohlensäure demselben zugeführt, alles in quantitativ kontrollierbaren Verhältnissen. Im Versuch Nr. 2 wurde beispielsweise 32½ mg Stickstoff als aus der Luft aufgenommen konstatiert, während die Pflanzen mit Einschluss des Bodens 34,1 mg gewonnen hatten. Die Übereinstimmung kann für genügend und der zu erbringende Beweis für geliefert angesehen werden.

*) Allerdings eine Voraussetzung ist hierbei gemacht, die aber ausserhalb des Rahmens der experimentellen Untersuchung liegt, nämlich die, dass das Element Stickstoff ein wirkliches und endgültiges Element ist. Hieraus kann ein Einwurf gegen die Zulässigkeit der in Rede stehenden Schlussfolgerung erhoben werden. Einem jeden, der etwas tiefer in die Grundlagen der chemischen Forschung eindringt, ist bekannt, dass unsere sogenannten Elemente einen provisorischen Charakter an sich tragen. Die regelmässigen Gruppierungen der Eigenschaften derselben, wie sie sich namentlich nach den Untersuchungen des berühmten russischen Chemikers Mendeljeef herausgestellt haben und sich immer weiter herausstellen, zeigen grosse Ähnlichkeiten mit den homologen Reihen der Kohlenstoffverbindungen, und der Schluss liegt nahe, dass auch jene Verbindungen seien einiger wenigen, zur Zeit noch unbekannten, wirklichen Elemente, zu deren Abscheidung wir die passenden Hilfsmittel in unseren Laboratorien nur nicht zur Hand haben. Andererseits ist bekannt, wenn auch seiner Tragweite nach nicht genug gewürdigt, dass die Organismen, namentlich aber diejenigen pflanzlicher Natur, in ihrem geheimnisvoll wirkenden Protoplasma über weit kräftigere Mittel verfügen zur Synthese sehr verschieden und kompliziert konstituierter Verbindungen, als wir deren zur Zeit in unseren chemischen Werkstätten vorrätig haben. Die häufige wechselseitige Umwandlung von Kohlenhydraten in die ganz anders aufgebauten Fette, die auch im Tierkörper sich vollzieht, die Synthese des Eiweissmoleküls aus unendlich einfacher konstituierten Baustoffen im Pflanzenleib sind hierfür die nächstliegenden Beispiele. Die Entdeckung der Umwandlung und scheinbaren Umformung unserer sogenannten Elemente hat daher gerade in den Organismen und unter diesen im Pflanzenkörper die verhältnismässig grösste Wahrscheinlichkeit. Auch ist diese Frage experimentell eigentlich nur in der unserer heutigen Ernährungslehre in Bezug auf die Aschenbestandteile zu Grunde liegenden Untersuchung von Wiegmann und Polstorf ein einziges Mal mit ausreichenden Hilfsmitteln in Angriff genommen worden, damals allerdings mit negativem Erfolg. Trotzdem ist die Wahrscheinlichkeit eines positiven Fundes in dieser Richtung ausserordentlich gering. Wenn Elementsynthesen, um es so auszudrücken, in der Physiologie regelmässig vorkommende Erscheinungen wären, man wäre vermutlich bei zahlreichen Stoffwechselbilanzen schon lange auf solche gestossen. Immerhin musste bei einer ganz objektiven Darstellung der Hellriegel'schen Versuchsresultate mit dem matten Schein dieser Möglichkeit gerechnet werden, bis der positive Beweis, von welchem in der vorigen Anmerkung die Rede war, erbracht war.

Für die praktischen Folgerungen, mit denen wir zu thun haben werden, ist diese kritische Einschränkung von geringer Bedeutung. Ob die Quelle der durch die Papilionaceen auf so geheimnisvolle Art erworbenen Stickstoffverbindung der freie Stickstoff ist oder ein anderes



Fig. 13. — Lupinenkultur nach Hellriegel. 1 und 4 geimpfte, 2 und 3 nicht geimpfte Pflanzen.

der gewöhnlichen in oder in der Umgebung der Pflanze anwesenden Elemente, ein bedeutender ökonomischer Vorteil ist damit immer verbunden, da Stickstoff unter allen Stoffen, bei allen den Schwankungen, welche die Preise der Pflanzennährstoffe bislang erlitten haben, immer weitaus der teuerste ist.

Satz 5 der allgemeinen Schlussfolgerungen spricht dann die Beteiligung von Mikroorganismen an der eigenartigen Stickstoff-Assimilation der Papilionaceen aus. Auch hieran dürfte die Kritik kaum etwas zu erinnern haben. Lehren doch die zahlreichen und vielfach variierten Versuche Hellriegel's, dass Infektion einerseits und Sterilisation andererseits ausnahmslos maassgebend gewesen sind für das Erscheinen eines positiven oder negativen Versuchsresultates, und ist es doch andererseits in der Wissenschaft ein seit Pasteur feststehender Satz, dass eben diese selben Mittel die Anwesenheit oder den Ausschluss von niederen Lebewesen beherrschen.*) Auch dieser Satz sei durch eine Abbildung, welche Bezug hat auf nachher zu erwähnende Hellriegel'sche Versuche, illustriert. Vergl. Fig. 13.

Ebensowenig entfernt sich der 6. Satz von der erfahrungsgemäss gegebenen und durch die grosse Anzahl der Versuche so soliden Grundlage. Ist einmal der geheimnisvolle Vermittler des Stickstofferwerbs infolge zwingender Schlussfolgerung als niederes Lebewesen erkannt, so beweisen die Versuche Hellriegel's auch, dass es deren für verschiedene Papilionaceenarten verschiedene Arten oder Spielarten giebt; denn der eine Bodenextrakt ist nützlich für die eine Kultur, der andere nicht und umgekehrt.

Dass Hellriegel die Organismen nicht gesehen, oder besser auf das, was er davon gesehen, keine Schlüsse baut, thut nichts zur Sache.**)

Ganz und gar erfahrungsgemäss ist endlich der 7. Satz, in welchem die Wurzelknöllchen der Papilionaceen (vergl. Fig. 14) in Zusammenhang gebracht werden mit der Stickstoffassimilation, während die ältere Hypothese der Eiweissspeicherung, als nicht durch die Erfahrung bestätigt, bestritten wird. Allerdings wird hierdurch an Stelle der alten Hypothese eine neue gesetzt, aber diese neue Hypothese ist so allgemein gehalten, dass das Positive in ihr nur dem durch die Erfahrung unmittelbar Gegebenen entspricht und den Resultaten von neuen Untersuchungen aller Raum gewährt wird, dieselbe auszubauen, und der Kritik keine Gelegenheit offen gelassen wird, ihr Beschneidungsmesser anzusetzen.

*) Nur an enzymartige Körper wäre, wenn man die Frage ganz allgemein stellt, noch zu denken, da sie ungefähr denselben Existenz- und Vernichtungsbedingungen unterliegen; aber auch in Bezug auf diese lehrt die Wissenschaft, dass sie ausschliesslich in lebenden Organismen Entstehung nehmen, und da bei den betreffenden Versuchen von höheren Organismen nur die Papilionaceen selber zugegen sind, diese aber gerade nach den in Rede stehenden Sterilisierungsversuchen nicht im stande sind, die fraglichen, den Stickstofferwerb vermittelnden Körper zu liefern, so kämen wir auch mit der gemachten Unterstellung auf die niedrigen Lebewesen zurück; und diese sind mehr oder minder direkt die wirksamen Körper.

**) Mögen unsere modernen Bakteriologen sich für die Erhärtung ähnlicher Thatsachen gegenwärtig einer schulmässig feststehenden Beweisführung, wobei die Organismen sehen und und in Reinzucht vermehren, unerlässliche Bedingungen sind, bedienen, so ist für die Kritik der Hellriegel'schen Schlüsse doch nur nötig, nachzusehen, ob dieselben logisch zwingend sind, und als solche haben wir sie erkannt. Ja uns will es als ein Vorteil erscheinen, dass H., freimütig seine Inkompetenz auf dem Gebiete der Bakteriologie bekennend, sich nicht ein so wohlfeil zu beschaffendes, geliehenes Mäntelchen mikroskopischer Untersuchungsmethode umhängt, weil dadurch das Vertrauen in seine experimentelle Zuverlässigkeit gesteigert wird.

Im ganzen haben wir mithin von Hellriegel die folgenden drei Entdeckungen, die durch ihn endgültig in die Wissenschaft eingeführt sind:

1. Die eigentümliche, der sonstigen Ernährungslehre der Pflanzen widersprechende Assimilation von freiem Stickstoff durch Pflanzen aus der Familie der Leguminosen.

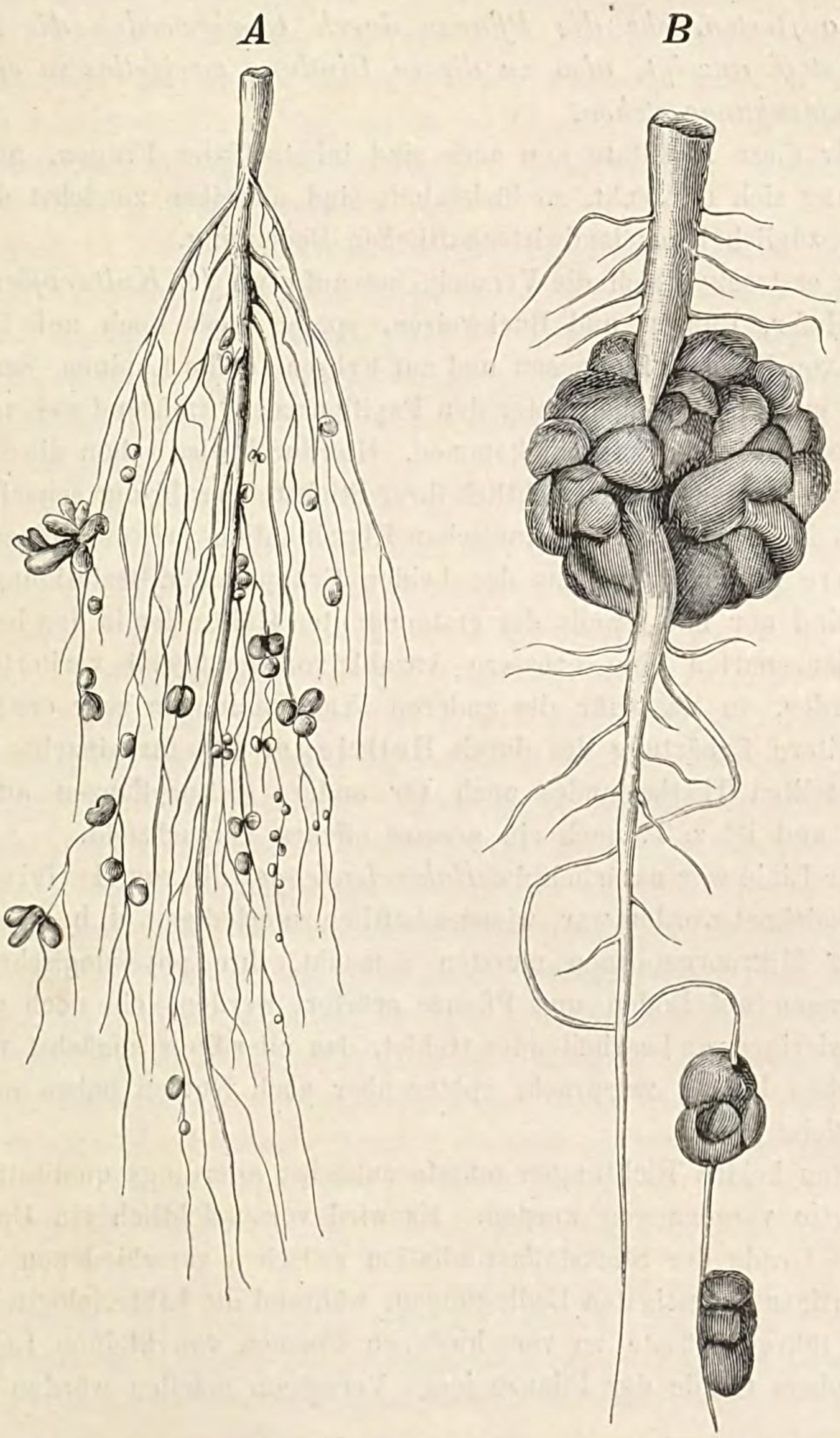


Fig. 14. — Wurzelknöllchen A von Rotklee, B von Lupinen, nach Frank und Tschirch.

2. Diese Erscheinung ist, was äusserliche Bedingungen anlangt, an bestimmte, für besondere Pflanzenarten besondere, aber noch nicht näher gekannte, niedere

Organismen geknüpft, die sich nicht bloss von Bodenaufgüssen auf die Pflanzen, sondern, wie spätere Versuche Hellriegel's lehren, auch von Pflanze auf Pflanze durch eine Art Impfung übertragen lassen. Das Resultat eines solchen Versuchs ist in Fig. 13 dargestellt.

3. *Die Ausübung der Funktion ist an dem dazu befähigten Pflanzenindividuum zu erkennen an dem Erscheinen der Wurzelknöllchen, welche unmittelbar vorher auftreten, ehe die Pflanze durch Üppigwerden die Bindung von freiem Stickstoff anzeigt, also zu dieser Bindung zweifellos in einem ursächlichen Zusammenhange stehen.*

So positiv diese Resultate nun auch sind inbetreff der Fragen, auf welche die Versuchsführung sich erstreckt, so lückenhaft sind dieselben zunächst der Natur der Sache nach bezüglich ihrer landwirtschaftlichen Bedeutung.

Zunächst erstrecken sich die Versuche nur auf etwa *12 Kulturpflanzen*, nämlich auf Gerste, Hafer, Rübsen und Buchweizen, später auch noch auf Raps und die Sonnenblume von Nichtpapilionaceen und auf Erbsen, gelbe Lupinen, Serradella, Rotklee, Wicken und Pferdebohnen unter den Papilionaceen, während weit mehr Pflanzenarten landwirtschaftlich in Betracht kommen. Hierdurch wird schon die Scheidung aller Pflanzen in zwei grosse, sich hinsichtlich ihrer Stickstoffernährung scharf abscheidende Gruppen nach Maassgabe ihrer botanischen Klassifikation prekär und zum mindesten für noch andere Pflanzenarten aus den beiden Gruppen der Bestätigung bedürftig*).

Weiter sind nur mit jeweils der erstgenannten Hälfte der in den beiden Gruppen genannten Pflanzenarten eine grössere Anzahl von genügend variierten Versuchen angestellt worden, so dass für die anderen Wiederholungen sehr erwünscht waren. Also eine weitere Erhärtung des durch Hellriegel nur für einzelne Pflanzenarten sicher festgestellten Thatbestandes auch für andere Kulturpflanzen aus den beiden Gruppen war und ist z. T. noch ein grosses offenes Versuchsfeld.

In zweiter Linie war natürlich die *Bakterienfrage*, die von Hellriegel selbst als eine offene bezeichnet worden war, wissenschaftlich zu erledigen, d. h. also Reinkulturen der fraglichen Mikroorganismen mussten gemacht, ihre physiologischen Ansprüche und Einwirkungen auf Boden und Pflanze erörtert werden, ein noch grösseres und jedenfalls schwieriger zu bearbeitendes Gebiet, das allerdings zunächst nur einen rein wissenschaftlichen Ertrag versprach, später aber auch Nutzen haben musste für die landwirtschaftliche Praxis.

Und in den beiden Richtungen musste zunächst allerdings qualitativ, dann aber auch *quantitativ* vorgegangen werden. Es wird voraussichtlich ein Unterschied bestehen in dem Grade der Stickstoffassimilation zwischen verschiedenen Papilionaceen auch unter übrigens günstigsten Bedingungen, während die bakteriologische Forschung ohne Zweifel führen müsste zu verschiedenen Formen von kleinen Lebewesen, die in ungleich hohem Grade der Pflanze jenes Vermögen erteilen würden.

*) Man denke hierbei an die früher besprochene Eigentümlichkeit der Crassulaceen bei der Sauerstoffabscheidung, die sich nach Untersuchungen von O. Warburg (Landw. Versuchsst., 21, p. 277; und Unters. a. d. bot. Inst. zu Tübingen, II, p. 53) auch auf einzelne Arten der Familien der Cacteen, Orchideen, Cycadeen und der Farne erstreckt.

So war der Forschung ein grosses neues Feld erschlossen, und natürlich stürzte sich auf dasselbe ein grosses Heer von Untersuchern. Wir werden an dieser Stelle kurz darzustellen haben, was durch diese vielseitigen Bestrebungen von positiven und voraussichtlich bleibenden Ergebnissen zu Tage gefördert worden ist.

In Bezug auf die zuerst angedeutete Richtung kommt vor allem eine Arbeit von Nobbe und seinen Assistenten in Betracht*), obschon dieselbe in einer anderen Richtung noch wichtigere Resultate zu Tage gefördert hat. Nobbe hat drei baumförmige Leguminosen mit in das Bereich seiner Versuche gezogen, aber nur bei zweien derselben, Robinia**) und in geringerem Grade Cytisus, ein Verhalten analog der bis jetzt untersuchten schmetterlingsblütigen Kulturpflanzen beobachtet, während sich Gleditschia deutlich anders verhielt.

Dies Resultat ist allerdings zunächst mehr von einem gewissen forstmännischen als von spezifisch landwirtschaftlichem Interesse, aber doch deshalb auch für unsere Darstellung hochwichtig, weil daraus erhellt, wie vorsichtig man mit der Verallgemeinerung des interessanten Thatbestandes von einer Spezies oder Gattung auf eine andere derselben Familie sein muss und wie notwendig es ist, eine jede Spezies für sich selbst zu prüfen.

Durch Bréal***) wurde dann neuerdings die gewöhnliche Bohne, Phaseolus vulgaris, und die Luzerne, also zwei wichtige Kulturpflanzen, in die Reihe der durch Aufnahme von freiem Stickstoff sich ernährenden eingeführt, durch die Untersuchungen von Berthelot†) auch Medicago lupulina. Auch die Untersuchungen Beyerinck's††), obwohl sie sich hauptsächlich in anderer Richtung bewegen, geben in dieser Beziehung einige Erweiterung, indem er u. a. mit den Pflanzen Lotus corniculatus, verschiedenen Lathyrusarten, Vicia hirsuta, Cracca und Narbonensis, Ervum Ervilia, Caragana arborea, Genista, Melilotus, Lupinus polyphyllus, mutabilis und luteus, Linse, Trifolium procumbens (nach Prazmowski auch hybridum), Ornithopus perpusillus und Weissklee unter den Papilionaceen und mit Melampyrum pratense und Rhinantus major aus anderen Familien arbeitete und an ihnen bakterienhaltige Knöllchen nachwies, während er bei einer schmetterlingsblütigen Pflanze, der weissen Lupine†††), überhaupt keine Knöllchenbildung beobachten konnte.

Diese Untersuchungen sind allerdings rein botanische und geben zunächst keinen Aufschluss über die Grösse des Stickstoffgewinns bei einem oder dem anderen der anatomisch untersuchten Gewächse. Doch aber sind sie wie gesagt geeignet, uns in Bezug der Ausdehnung der fraglichen Ernährungsweise auf die ganze Familie der Legumiosen vorsichtig zu machen, und entbehren daher nicht des praktischen Interesses.

*) Vergl. Landw. Versuchss., 38, p. 324, und namentlich 39, p. 327.

**) Quantitativ ist allerdings die Stickstoffansammlung durch die Akazie geringfügig, wie durch vergleichende Versuche zu Wageningen sich ergiebt.

***) Compt. rend., 109, p. 670.

†) Annal. agron., XV, p. 220.

††) Botan. Zeitung, 1888, Nr. 46—50.

†††) Dies Resultat ist natürlich nur sehr vorläufig, da gerade die weisse Lupine ein besonders guter Stickstoffsammler ist. Vergl. in dieser Beziehung die Mitteilung des Verfassers dieser Vorlesungen: Landbouw-Weekblad, 1892, Nr. 46.

In der anderen Richtung des bakteriologischen Studiums der ganzen Angelegenheit kommen wieder u. a. die eben erwähnten Arbeiten von Beyerinck und von Nobbe in Betracht, welchen beiden die Reinkultur der maassgebenden Bakterien gelang. Aus Erbsen- und Lupinenknöllchen wurden auf diesem Wege durch den letztgenannten Bakterien isoliert, die unter sich in Form und im Aussehen ihrer Kolonieen die grösste Ähnlichkeit hatten. Dasselbe gelang aus den Wurzelknöllchen der Robinia, und zeigten sich bei den so gewonnenen Formen morphologische Unterschiede gegenüber jenen. Bei Impfungen von Pflanze auf Pflanze zeigten Bakterien die grösste Wirkung, *deren Impfmaterial von der gleichen Versuchspflanze* herstammte*), während bei Übertragung mit Erde sich diejenige als die kräftigst wirkende verhielt, die aus der Umgebung der baumartigen Papilionaceen entnommen war.

Noch viel reichlichere bakteriologische Besonderheiten enthält die Arbeit Beyerinck's. Ihm kommt selbst die Priorität in dem Nachweis zu, dass die fraglichen Körperchen in den Wurzelknöllchen *Bakterien* sind, denn es gelang ihm, willkürlich Infektionen vorzunehmen durch als solche erkannte rein gezüchtete Mikroorganismen.

Sodann sind namentlich die Arbeiten von Prazmowski von Wichtigkeit, der am eingehendsten die Beziehungen der rein gezüchteten Bakterien zu der Knöllchenbildung studierte und dabei die unbedingte Zusammengehörigkeit der beiden noch schlagender nachwies. Unter den Resultaten dieser Arbeiten**) ist besonders hervorzuheben:

1. *Dass nur jugendliche Wurzeln der Infektion zugänglich sind.*

2. *Eine sehr genaue Beschreibung der anatomischen Verhältnisse und der Entwickelungsgeschichte der Knöllchen,* die sich nur nach Einwanderung der betreffenden Bakterien bilden und auch nach ihrer Entwickelung noch solche im lebenden Zustande, freilich auch ihrerseits teilweise sehr wesentlich verändert, enthalten***).

3. *Die isolierten Bakterien haben auch ausserhalb der Pflanze eine, wenn auch schwächere Fähigkeit, den freien Stickstoff zu binden.* Für diesen wichtigen Satz, der die physiologische Seite der ganzen Frage mit einem Schlage erledigen würde, sind allerdings die nötigen analytischen Belege noch nicht gegeben. Dieselben sind natürlich ganz unerlässlich für die Feststellung einer so grundlegenden Thatsache, auch ganz abgesehen davon, dass ein anderer Untersucher auf demselben Gebiete,

*) Nach ganz neuen Untersuchungen desselben Autors bilden sich durch die Anpassung der Bakterien an bestimmte Leguminosen besonders für diese geeignete Spielarten, woraus sich die praktische Regel ergiebt, immer die Impferde Kulturen der gleichen Pflanze zu entnehmen. Vergl. Landw. Versuchsst., 45, p. 1.

**) Landw. Versuchsst., 37, p. 161, u. 38, p. 5. Prazmowski würde in der Entdeckung einiger Dinge sogar die Priorität vor Hellriegel gebühren, wenn er nicht durch Krankheit an der rechtzeitigen Publikation verhindert worden wäre.

***) Den schwierigen Versuch P.'s, den Hellriegel'schen Beweis der Abhängigkeit der Knöllchenbildung von bestimmten Bakterien unter Ausschluss sämtlicher anderen niederen Organismen zu wiederholen, übergehe ich hier, so interessant derselbe auch in anderer Beziehung sein mag, da ich jenen, wie aus der Darstellung im Texte hervorgeht, schon für ausreichend ansehe.

Beyerinck*), in dieser Beziehung zu einem entgegengesetzten Resultate gelangt ist. Doch ist eine Lösung der Frage im Sinne von Prazmowski sehr wahrscheinlich, da gerade den niederen Organismen erfahrungsgemäss viel einschneidendere Stoffumsetzungen, namentlich des Stickstoffs, eigentümlich sind. So haben, wie schon früher erwähnt, erst ganz kürzlich Untersuchungen von Aberson und Giltay**) mit voller Sicherheit gelehrt, dass es Bakterien — gleichfalls im Erdboden hausend — giebt, welche aus Nitraten glatt allen Stickstoff in der freien Form abzuspalten vermögen, eine Thätigkeit, die in der höheren Pflanze — man denke an die vielen gut stimmenden Stickstoffbilanzen, welche wir Boussingault verdanken — niemals vorzukommen scheint.

Weitere Untersuchungen in der angedeuteten Richtung sind dann von Winogradsky angestellt worden, aus welchen hervorgeht, dass die fraglichen Wurzelknöllchenbakterien in Reinkulturen nur Stickstoff zu verarbeiten vermögen, wenn ihnen auf die eine oder die andere Weise (auch durch sauerstoffgierige Pilze) der freie Sauerstoff entzogen wird. Die Bakterien erzeugen bei der betreffenden Reaktion viel freien Wasserstoff und verhalten sich, was ihren Stoffumsatz angeht, etwa so wie die Organismen der Buttersäuregärung***), und hiernach wäre die Bindung des freien Stickstoffs aufzufassen als eine durch den Wasserstoff in status nascens bewirkte. Als stickstofffreies Nahrungsmittel der Bakterien dient Zucker†).

Immerhin ist die Angelegenheit noch im Stadium „der vorläufigen Mitteilung“ und daher noch nicht als feststehend in die Annalen der Wissenschaft einzuzeichnen.

Endlich muss noch ein Resultat der sorgfältigen Nobbe'schen Arbeit an dieser Stelle ausdrücklich erwähnt werden. Die Bakterieninfektion wirkt immer — ganz wie dies Stickstoffdüngungen sehr regelmässig zu thun pflegen — mehr auf die *vegetative* Entwickelung der betreffenden Pflanzen als auf deren Fruchtansatz. Ja, der letztere wird durch die fragliche Symbiose oft geradezu verzögert. Theoretisch ist dieses Verhalten allerdings beinahe selbstverständlich; aber dessen praktische Bedeutung ist so gross, dass wir an dieser Stelle besonders hierauf zu verweisen Veranlassung finden. Man wird in der landwirtschaftlichen Praxis ganz besonders auf die Futtergewächse als stickstoffliefernd hingewiesen und damit stimmt überein, dass eben ganz besonders die Kleearten und ähnliche Futterkräuter, daneben auch die verhältnismässig wenig samentragenden Lupinen zur Ausbeutung der Hellriegel'schen Entdeckung angewiesen sind, wie ja faktisch nach den alten statischen Erfahrungen die Pferdebohnen und Phaseolusarten kaum oder in viel geringerem Grade als bodenkraftersparende gegolten haben.

Von den einschlagenden Frank'schen Untersuchungen über den gleichen Gegenstand schweigen wir besser an dieser Stelle trotz dem grossen experimentellen Aufwand, welcher für dieselben gemacht worden ist, da als roter Faden sich eine sehr deutliche Tendenz, die Verdienste Hellriegel's zu verkleinern, hindurchzieht. Von positiven Resultaten würden allerdings erwähnenswert sein einmal der Nachweis,

*) Botan. Zeitung, 1888, Nr. 46—50.

**) Mitgeteilt in Extrait des Archives néerlandaises, T. 25, p. 341.

***) Siehe das Lehrbuch der Gärungschemie, welches als dritter Teil dieses Werkes erscheint.

†) Compt. rend., 118, p. 353 u. 1043.

dass auch Nichtpapilionaceen, ja die höheren Pflanzen ganz im allgemeinen, die Fähigkeit, freien Stickstoff zu assimilieren, im Keime, wenn nicht in praktisch bemerkenswertem Grade, auch besitzen. Ich halte indessen auch diese nur theoretisch wichtige Thatsache für nicht mit aller Sicherheit erwiesen, bevor andere Experimentatoren, welche mit allen Finessen der analytischen Chemie wohl vertraut sind, dieselbe mit schlagenden Zahlen bestätigt haben*).

Sodann ist meines Erachtens erwähnenswert — aber in dieser Beziehung ist Frank nicht der erste und einzige**), dass auch grüne, den Erdboden bewohnende Algen ein nicht sehr grosses, aber doch ganz zweifelloses Vermögen, freien Stickstoff zu verarbeiten, besitzen***).

Als gemeinschaftliches sicherstehendes Resultat aller dieser Arbeiten hat sich mithin ergeben, dass *die Knöllchen*, die vor Hellriegel durch de Vries†), Brunchorst††), Schindler†††) u. a. einfach als normale eiweisserzeugende und jedenfalls eiweissaufspeichernde Organe*†) der betreffenden schmetterlingsblütigen

*) Vergl. in dieser Beziehung die sorgfältige Rezension der Redaktion von Biedermann's Centralblatt, 1892, p. 257. Auch die Untersuchung von Lotsy (Departement of Agriculture, Bulletin 18, 1894) über die Stickstoffassimilation verschiedener Senfarten ist gegenüber den Angaben Liebscher's, welche die Frank'schen Annahmen zu bestätigen schienen (Journ. f. Landw., 1893, p. 139) von Gewicht. Andere Angaben von Frank sind durch Kossowitsch kritisiert (Bot. Zeitung, 1892, Nr. 43).

**) Als Entdecker und Erörterer dieser Thatsache sind auch französische Forscher Schlösing u. Laurent: Compt. rend., 115, p. 732) und A. Petermann zu nennen. Vergl. dessen Contribution à le question de l'azote. Note II u. III. Auch in diesem Falle scheint übrigens eine Symbiose mit Bakterien vorzuliegen. Vergl. Kossowitsch: Botan. Zeitung, 1894, I, 5.

***) Im übrigen lassen sich viele Einwendungen gegen die Frank'schen Schlussfolgerungen machen. Einzelne Versuche z. B. sind in humosem Gartenboden angestellt, der auch sterilisiert im stande war, die Lupinen, mit denen er arbeitete, ausreichend zu ernähren. Nicht sterilisiert zeigte sich Knöllchenbildung, aber schlechteres Wachstum. Vergl. Landw. Jahrb., 17, p. 421 und besonders 495 u. 544. Der einzige Schluss, der hieraus zu ziehen war, ist der, dass im nicht sterilisierten Boden irgend ein unbekanntes Hindernis für die Vegetation vorhanden war, ein Hindernis, welches versäumt wurde aufzusuchen. Erst nach Beseitigung dieses Hindernisses konnte von einer fruchtbringenden Fortsetzung der Versuche die Rede sein. Der historische Teil der citierten Frank'schen Arbeit ist übrigens sehr verdienstlich.

†) Landw. Jahrb., VI, p. 933. Vergl. auch Lachmann, Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1891, p. 837.

††) Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., 1884, Heft 7.

†††) Journ. f. Landw., 1885, 325.

*†) Das Resultat zweier Analysen, die von Troschke an den Knöllchen der blauen Lupine und den dazugehörigen Wurzeln angestellt worden sind und am besten den grossen Eiweissgehalt der betreffenden durch Symbiose zu stande gekommenen Organe dokumentieren, ist folgendes. In 100 Teilen Trockensubstanz wurde dabei gefunden:

	Knöllchen.	Wurzeln.
Rohproteïn (Eiweiss)	45,3 % (31,6)	7,1 % (5,2)
Rohfett	5,3 „	1,3 „
stickstofffreier Extraktstoff	32,5 „	34,6 „
Rohfaser	9,4 „	52,9 „
Asche	7,5 „	4,1 „.

Erst bei Anblick dieser Zahlen begreift man die Ausgiebigkeit der Stickstoffquelle. Bei Schindler citiert „Wochenschr. d. Pommersch. ökonom. Gesellsch.", 1884, Nr. 19.

Pflanzen angesehen worden waren, *durch Symbiose zu stande kommende Bildungen jugendlicher Wurzeln dieser Pflanzen mit spezifischen oder wenigstens sich an die Pflanze anpassenden Bakterienarten sind,* welche letztere wahrscheinlich auch für sich, in höherem Grade aber wohl erst in ihrer Kombination mit der höheren Pflanze *freien Stickstoff zu fixieren und diesen zur Verfügung zu stellen vermögen.* Dies ist die nähere wissenschaftliche Erklärung der exakt von Hellriegel festgestellten Erscheinung.

Unter Symbiose (Zusammenleben) versteht man bekanntlich die bei genauerer Beobachtung in der Natur sich immer mehr und in ungeahnten Formen ergebende Erscheinung, dass zwei Organismenarten, die genetisch nichts miteinander gemein haben, sich zusammenthun zu einem gemeinschaftlichen Leben. In der Regel kommt eine derartige gemeinschaftliche Wirtschaft nur zu stande, wenn beide Teile ihre Rechnung dabei finden. Staren und andere Vögel in der Umgebung von Rinderherden sind dafür das einfachste Beispiel. Die Vögel nähren sich von den Insekten, welche die Vierfüssler heimsuchen. Jene haben den Vorteil der Nahrung, diese den, von der Plage erlöst zu sein, und dulden daher jene in ihrer Umgebung. Oder es handelt sich um Insekten, die unentbehrlich sind zur Befruchtung von Vanille und anderen Pflanzen, ihrerseits aber durch Honig, den sie in diesen finden, entschädigt werden. Die Beweggründe der Gemeinschaftlichkeit sind in diesen Fällen so auf der Hand liegend, dass man, wenn es keine verwickelteren Fälle gäbe, um solcher willen den Begriff der Symbiose nicht als etwas Besonderes aufgestellt haben würde.

Verwickeltere Fälle sind die wie der berühmte von Schwendener aufgeklärte, wobei gezeigt wurde, dass die Gewächse, welche man bis dahin widerspruchslos als eine grosse eigene Pflanzengruppe, „die Flechten", aufgefasst hatte, nichts anderes sind als Kombinationen von je zwei bestimmten Arten ganz anderer Gruppen, von je einer Pilz- und einer Algenart. Diese beiden in ihrer Ernährungsweise grundverschiedenen Pflanzen wachsen aufeinander und durcheinander, verschmelzen so zu einem neuen Individuum; aber gerade wegen jener Verschiedenheit finden beide ihren Vorteil dabei. Die Alge mit ihrem Vermögen, selbständig organische Stoffe zu produzieren, ist natürlich ein guter Wirt für den schmarotzenden Pilz, der so diese Stoffe, die auch er bedarf, unmittelbar zur Hand hat. Aber auch jene zieht Vorteil von diesem, da der Pilz mit seiner starken Säureproduktion kräftiger den Boden angreift, auf dem beide wuchern, und so der Alge mineralische Stoffe verschafft. So leistet die Kompanieschaft mehr, als jeder einzelne zu thun im stande wäre, ähnlich wie der Blinde, der nach der bekannten Fabel den Lahmen auf den Rücken nimmt und dadurch gleichsam sehend wird, wie dieser dafür das Mittel erhält, sich fortzubewegen; und an diese Kompanieschaft haben sich die Pflanzen mit Hilfe der natürlichen Züchtung gewöhnt, so dass sie, solange Menschen Pflanzen untersuchen, nie anders als in solcher aufgetreten sind und sich so bei unserem Geschlechte die Vorstellung einer eigenen Pflanzengruppe festsetzte, welche den Namen „Flechte" erhielt, bis ein genialer Untersucher kam, der die bis dahin unzertrennlichen Genossen auseinanderjagte.

Seit Schwendener's Untersuchungen haben sich nun die Fälle, dass solche gemeinschaftliche Wirtschaften erkannt wurden, als das, was sie sind, unendlich ge-

häuft, und die Symbiose ist gegenwärtig ein grosses Kapitel in den biologischen Wissenschaften, sehr lehrreich und ganz neue Gesichtspunkte eröffnend. Nach dem Gesagten wird auch verständlich sein, was damit ausgedrückt wird, wenn wir die Wurzelknöllchen an den Papilionaceen als durch Symbiose zu stande kommend bezeichnet haben. *Im Boden vorkommende Bakterien, oder wenigstens Mikroorganismen**), *werden durch die organischen Stoffe*, vor allem das Stärkemehl, *der Papilionaceenwurzel besser ernährt und zu mächtiger Vermehrung angeregt, während die Wurzel, namentlich im stickstoffarmen Boden, noch mehr Vorteil von der gemeinschaftlichen Wirtschaft hat, da sie von jenen für Stärke, die sie im Überfluss besitzt, Eiweiss, woran sie Mangel hat, erhält. Eiweiss besitzt auch landwirtschaftlich den mehrfachen Wert der Kohlenhydrate, da diese sich in der grünen Pflanze aus der kostenlos zur Verfügung stehenden Kohlensäure der Luft leicht erzeugen, zu der Bildung des ersteren aber ausser Kohlenhydraten noch gebundener Stickstoff, der teuer gekauft werden muss, nötig ist. Durch dies in seinem Wesen blossgelegte symbiotische Verhältnis wird die schmetterlingsblütige Pflanze, indem sie sich selber nützt, ein mächtiger Faktor in der Landwirtschaft, geeignet, die Produktion der Eiweissstoffe bedeutend zu verbilligen.* In diesen Worten ist der Kernpunkt der ganzen Frage ausgedrückt.

Wir wollen nun die Sätze, zu denen wir im Verlauf dieser vier Vorlesungen über die Aufnahme der stickstoffhaltigen Nährstoffe der höheren grünen Pflanze gelangt sind, nochmals kurz zusammenfassen:

1. Alle Pflanzen enthalten stickstoffhaltige Stoffe, die ihnen unentbehrlich sind.
2. Alle Pflanzen enthalten, besonders in ihren jugendlichen, der Neubildung fähigen Zellen, stickstoffhaltige Stoffe, welche der Proteïngruppe angehören.
3. Diese Stoffe bilden sich in der Regel aus stickstofffreier organischer Substanz und stickstoffhaltigen anorganischen Verbindungen.
4. Geht diese Bildung wie voraussichtlich einerseits auf Kosten von Kohlenhydraten vor sich, so muss gleichzeitig Kohlensäure (oder irgend ein anderer hochoxydierter kohlenstoffhaltiger Körper) entstehen.
5. Der freie Stickstoff der Luft vermag die höhere grüne Pflanze im allgemeinen nicht zu ernähren.
6. Hierzu sind im allgemeinen Salpetersäureverbindungen notwendig; gelegentlich können auch Ammoniaksalze und einige, dem Zerfall in anorganische Stoffe nahestehenden, stickstoffhaltigen organischen Verbindungen für jene eintreten.
7. Es sind in der Natur mehrere Prozesse der Neubildung von gebundenem Stickstoff auf Kosten des freien bekannt; der bekannteste davon ist die Bildung von Salpetersäure durch Oxydation des Stickstoffs durch den elektrischen Funken. Der Pflanzenwelt steht daher in der Natur ausser dem im

*) Ich gebrauche im Texte fortwährend das Wort Bakterien, obgleich die Einreihung der betreffenden Organismen in diese Gruppe nach der Beschreibung, die Prazmowski vom Eindringen in die Wurzel giebt, mit der Bakteriennatur jener wenigstens nach unsern bisherigen Vorstellungen schwer zu vereinbaren scheint. So lange indessen die Botaniker vom Fach sich dieses Namens bedienen, kann derselbe auch wohl unbedenklich in dieser Darstellung gebraucht werden.

Boden enthaltenen Stickstoff eine gewisse stets fliessende Stickstoffquelle in Form des Ammoniaks und der Salpetersäure der atmosphärischen Niederschläge zu Gebote.

8. Von dieser Quelle allein vermag jedoch die Pflanze keine für die Anforderungen einer intensiven Kultur genügende Menge von Stickstoff zu schöpfen.

9. Der gebundene Stickstoff der organischen Substanzen geht umgekehrt teilweise bei den Verbrennungs- und Verwesungserscheinungen in freien Stickstoff über. Der Landwirt ist jedoch im stande, diesen Verlust durch allerlei Maassregeln einzuschränken.

10. Eine Ausnahmestellung hinsichtlich der Stickstoffassimilation besitzt eine Reihe von niedrigen pflanzlichen Organismen, von denen einige im stande sind, freien Stickstoff abzuspalten, andere denselben zur Bildung von Proteïnstoffen zu benutzen.

11. An dieser physiologischen Sonderstellung nehmen auch teil manche höheren Pflanzen, namentlich aus der Familie der Leguminosen, insofern sie mit solchen niedrigen Organismen symbiotisch sich vereinigen. Solche Pflanzen sind in der praktischen Landwirtschaft bekannt unter dem Namen „bodenbereichernde Gewächse“.

12. Der Landwirt ist fast ausnahmslos gezwungen — will er anders die übliche Grösse der Ernte beanspruchen —, der Pflanze durch Düngung eine Quelle dieses Stickstoffs zu eröffnen oder durch Einschaltung der sub 11 genannten Gewächse in die Fruchtfolge für Zufuhr an diesem sparsam verbreiteten Elemente zu sorgen.

13. Die Aufnahme der Salpetersäure durch die Pflanzen geschieht allein durch die Wurzeln in Form einer Reihe von salpetersauren Salzen; die Aufnahme des Ammoniaks an starke Mineralsäuren gebunden geschieht durch die Wurzeln und an Kohlensäure gebunden auch, wenn man der umgebenden Atmosphäre künstlich davon zuführt, in Gasgestalt durch die Blätter; die Aufnahme des freien Stickstoffs durch knöllchenführende Leguminosen durch diese unterirdischen Organe.

Fünfzehnte Vorlesung.

Der Stickstoffgehalt der Pflanzen (Schluss). — Die stickstoffhaltigen organischen Bestandteile der Pflanzen.

Wir wollen heute von den *stickstoffhaltigen organischen Substanzen* der Pflanze reden und zugleich deren Funktionen, soweit es möglich, zu ergründen suchen, geradeso, wie wir dies früher für die stickstofffreien organischen Substanzen gethan haben. Wir wissen schon aus den Betrachtungen, die wir in der 11. Vorlesung angestellt haben, dass die wichtigsten stickstoffhaltigen organischen Substanzen der Pflanze die sogenannten Proteïnstoffe sind, und haben auch schon einen ungefähren Begriff von deren Zusammensetzung erhalten.

Es wurde gezeigt, dass der protoplasmatische Zellsaft, der in allen Gewebeteilen, wo intensive vegetative Vorgänge sich abwickeln, ohne alle Ausnahme als Träger dieser Vorgänge gefunden wird, regelmässig Proteïnsubstanzen in sich enthält; ferner darauf hingedeutet, dass in dieselbe Gruppe gehörige, stickstoffhaltige organische Körper als Reservestoffe neben den früher betrachteten stickstofffreien ganz regelmässig vorgefunden werden.

Aus dieser letzteren Thatsache scheint, nebenher gesagt, hervorzugehen, dass die Bildung der Proteïnstoffe aus stickstofffreier organischer Substanz und den stickstoffhaltigen anorganischen Nahrungsmitteln, obgleich dieselbe in jeder Pflanze notwendig erfolgen muss, doch nicht zu jeder Zeit und an jedem Ort*) des Pflanzenorganismus vor sich gehen kann, denn sonst würde die Aufspeicherung von Proteïnstoffen neben den Fetten oder Kohlenhydraten offenbar keinen Nutzen für die Pflanze haben. Das junge knospende oder keimende Organ, welches mit seinem grossen Bedarf an eiweissartigen protoplasmatischen Stoffen auf den Inhalt der Reservestoffbehälter angewiesen ist, besitzt offenbar die Fähigkeit noch nicht, aus den stickstofffreien organischen Stoffen und stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen sich die Proteïnsubstanzen selbst in genügenden Mengen zu erzeugen.

Zuerst wollen wir es uns zur Aufgabe machen, die Proteïnsubstanzen, wie sie in der Pflanze vorkommen, mit ihren Eigenschaften und Reaktionen etwas näher ins Auge zu fassen, geradeso, wie wir dies früher für die ternär zusammengesetzten organischen Substanzen, die bloss Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, gethan haben. An diese Betrachtung wird sich dann auch noch ein kurzer Überblick über die andern stickstoffhaltigen organischen Substanzen, die noch sonst in der Pflanze vorkommen mögen, denen wir aber nur z. T. eine erhebliche Wichtigkeit für die Lebensvorgänge dieses Organismus einräumen können, anschliessen.

Wir müssen für die Betrachtung der Proteïnstoffe vorausschicken, dass wir bei Besprechung der Zusammensetzung derselben noch auf zwei andere Elemente stossen werden, die regelmässig oder gelegentlich als konstituierende Bestandteile neben den vier andern, von deren Beteiligung an dem Aufbau jener Stoffe wir bereits Kenntnis haben, auftreten. Schon aus diesem Sachverhalt wird dann leicht der Schluss gezogen werden können, dass sich auch noch andere Stoffe als die bisher in dieser Richtung geprüften für die Ernährung der Pflanze als unumgänglich nötig erweisen werden. Doch wollen wir dies Resultat, zu dem wir nebenbei gelangen werden, vorerst beiseite liegen lassen, um dann in der nächsten Vorlesung durch eine hierzu geeignete Methode mit einem Schlag den Bedarf der Pflanzen nach einer ganzen Reihe von bisher unbeachteten Substanzen aufzudecken.

Als wir früher von der Entstehung der Proteïnstoffe sprachen, da haben wir schon auf die relative Sauerstoffarmut dieser Substanzen hingedeutet, die es nötig machte, bei dem Prozess ihrer Bildung einen Spaltungsprozess mit Kohlensäureentbindung anzunehmen, und welche die Proteïnstoffe in dieser Hinsicht neben die

*) Über diesen Ort sind nur Vermutungen vorhanden. J. Sachs will die Siebröhren der Gefässbündel dafür in Anspruch nehmen. Vergl. die Begründung dieser Anschauung in dessen Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, p. 392. Andere Forscher nehmen in den höheren Pflanzen die chlorophyllhaltigen Gewebe auch für diese Synthese in Anspruch.

Fette stellt. Ganz dasselbe ergiebt sich aus dem Platz, den man den Proteïnstoffen auf der früher erläuterten Tafel anweisen muss, wenn man diesen nach seinem relativen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt wählt, den Stickstoffgehalt aber ganz vernachlässigt. Dieser Platz ist auf der Tafel durch „Proteïn—N“ verzeichnet. Allein man kann zweifeln, ob dieser Platz der ist, welcher der Substanz eigentlich entspricht, da es natürlich strenge nicht möglich ist, Verbindungen, die aus vier Elementen bestehen, auf einer Fläche in dem früher von uns erläuterten Sinne anzuordnen, und deshalb ist auch der Platz verzeichnet, der sich für die Proteïnstoffe berechnet, wenn man den Stickstoff in Form von Harnstoff austreten lässt, was dem Wirkungswert dieser Stoffe im tierischen Körper, wo ja eben beim Eiweisszerfall Harnstoff oder verwandte Körper zu entstehen pflegen, als Atmungsmittel entspricht. Dieser Platz, bezeichnet durch „Proteïn—Harnstoff“, lässt noch deutlicher die Stellung der Proteïnstoffe in der Nähe der Fette hinsichtlich ihres relativen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgehalts erkennen.

Wenn wir nun auf Zusammensetzung und Eigenschaften der sogenannten Proteïnstoffe näher eingehen, so können wir gleich von Anfang eine Scheidung in zwei Gruppen vornehmen, die nicht bloss physiologisch sich ganz von selbst ergiebt, sondern auch chemisch gut durchzuführen ist — die Scheidung in die im Protoplasma enthaltenen, wenn ich so sagen darf, gerade funktionierenden Proteïnstoffe und in jene anderen, zur Zeit ruhenden, in unlöslicher Form abgelagerten.

Zuerst aber ist hervorzuheben, dass die Proteïnstoffe der beiden Gruppen und von den verschiedensten Eigenschaften, ebenso wie die Kohlenhydrate, fast genau die gleiche Zusammensetzung haben, wie schon daraus hervorgeht, dass wir auf jener Tafel für alle zugleich die Stellung bezeichnet haben, die ihrem relativen Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff entspricht.

Die weiteren gemeinschaftlichen Eigenschaften aller der verschiedenen in den Pflanzen vorkommenden Proteïnsubstanzen, und die auch zugleich für die Proteïnsubstanzen des tierischen Körpers ihre Geltung haben, lassen sich kurz dahin zusammenfassen, dass sie alle im reinen Zustand farb-, geruch- und geschmacklos sind, dass sie nicht oder nur schwierig krystallisieren, sondern gewöhnlich in amorpher Beschaffenheit auftreten, dass sie bis zu etwa 140° erhitzt unzersetzt bleiben, an sich nicht flüchtig sind, sich vielmehr bei höherer Temperatur unter Ausstossung des bekannten Geruches „nach verbranntem Horn“ zersetzen. In nicht zu verdünntem Alkali sind die Proteïnstoffe löslich*). Die wässrigen Lösungen der Proteïnstoffe, soweit sie sich herstellen lassen, sind grossenteils durch Alkohol und durch Mineralsäuren fällbar; sie drehen, soweit löslich, samt und sonders die Polarisationsebene des Lichts nach links. Beim Erhitzen mit starken Alkalien, z. B. Barytwasser, werden dieselben zersetzt und liefern hierbei wechselnde Mengen von Leucin, Tyrosin, Glutaminsäure, Asparaginsäure und Kohlensäure, Oxalsäure, Essigsäure, Ammoniak, welche mithin als konstituierende Bestandteile des grossen Moleküls zu betrachten sind. Eine besondere Beachtung verdient hierbei das Tyrosin, da dieser Körper der aro-

*) Hierauf beruht die Anwendung von Kalilauge bei der Futteranalyse, um den Zellstoff rein darzustellen.

matischen Reihe angehört und beweist, dass auch Körper dieser Reihe für die Konstitution der eigentlichen Eiweissstoffe unerlässlich sind, während alle Leimstoffe des Tierkörpers dieses Bestandteiles entbehren und daher auch nicht in der Nahrung jene vertreten können. Ähnliche Zersetzungen werden auch durch starke Säuren bewirkt. Mit wenig Zucker und konzentrierter Schwefelsäure behandelt, färben sich die Proteïnstoffe schmutzig purpurrot; eine mehr ziegelrote Färbung wird langsam bewirkt durch salpetrige Säure enthaltendes salpetersaures Quecksilberoxyd (Millon's Reagens) in der Wärme.

Diese Reaktion ist besonders lehrreich, da sie auf der Anwesenheit des aromatischen Spaltungsproduktes beruht und daher gegenüber leimartigen Körpern unterbleibt. Gelb werden die Proteïnstoffe durch Jodtinktur und durch konzentrierte Salpetersäure gefärbt. Die letztere (Xanthoproteïn-) Reaktion kann man bekanntlich sehr häufig an den Fingern der Chemiker bemerken, da die menschliche Haut Stoffe, die in jene Gruppe gehören, enthält. Mit einer kleinen Menge Kupferoxydsalz und ätzendem Alkali erhitzt, bilden die Proteïnstoffe eine schöne violette Lösung. Auf diesen verschiedenen charakteristischen Reaktionen beruht zum Teil die Möglichkeit, unter dem Mikroskop die proteïnhaltigen Pflanzenteile mit Sicherheit zu erkennen. Unter den Niederschlägen, welche die Proteïnstoffe bilden, verdienen namentlich die mit Gerbsäure als charakteristisch genannt zu werden.

Was das Verhalten der ganzen Gruppe der Proteïnstoffe in physiologischer Hinsicht betrifft, so ist die Gleichwertigkeit derselben als Nahrungsmittel des tierischen Körpers, soweit sie natürlich verdaulich sind, hervorzuheben*).

Mit Wasser in Berührung sind namentlich die löslichen Proteïnstoffe der Fäulnis leicht zugänglich. Diese beruht jedenfalls zum grossen Teile auf einem durch niedrige Organismen bewirkten Stoffumsatz. Unter den Zersetzungsprodukten sind dabei ausser den schon oben genannten Schwefelwasserstoff resp. Schwefelammonium zu nennen, woraus der unregelmässige Gehalt an Schwefel hervorgeht.

Soviel über das gemeinschaftliche Verhalten aller Proteïnstoffe. Nun zu den besonderen Eigenschaften der dieser Stoffgruppe angehörigen Verbindungen.

Die *Proteïnkörper* des *lebensthätigen Protoplasmas* sind wohl zu einem grossen Teile als identisch mit dem *Pflanzeneiweiss* anzusehen. Dieses ist jedenfalls in gelöster Form in dem ausgepressten Safte der verschiedensten Pflanzenteile vorhanden. Dass dem Eiweiss, als den protoplasmatischen Zellsaft, den wir als den Sitz aller Lebenserscheinungen im pflanzlichen Organismus oftmals genannt haben, wesentlich konstituierend, eine wichtige Funktion zukommt, geht aus dieser Sachlage deutlich hervor.

Die Eigenschaften des Pflanzeneiweiss'**) sind sehr ähnlich denen des tierischen. Es ist löslich in Wasser und fällt aus diesem durch Erhitzen auf 75° C. aus in Gestalt eines Gerinnsels, genau wie dies vom tierischen Eiweiss, z. B. dem Eiweiss

*) Unterschiede in dieser Richtung sind wenigstens nicht bekannt; doch ist die Frage wohl noch eines näheren Studiums wert, da man in der Praxis auf Erfahrungen stösst über ziemlich verschiedene Nährkraft theoretisch gleichwertiger Futterrationen.

**) Vergl. L. Gmelin: Handb. d. Chemie, VII, p. 2360; daselbst vollständige Litteraturangaben.

der Hühnereier bekannt ist. Bei dem sogenannten „Fruchtwasser“ der Kartoffeln lässt sich diese Erscheinung sehr gut nachweisen. Dabei spielen Salze der Phosphorsäure eine Rolle, so zwar, dass die Koagulation unterbleiben kann, wenn diese Salze der Eiweisslösung zuvor durch Diffusion entzogen worden sind. Das durch Gerinnung gewonnene Eiweiss wird dann bei der Analyse auch immer phosphathaltig, oder wie man sich zuweilen auch weniger genau ausdrückt, phosphorhaltig gefunden.

Die Zusammensetzung des Pflanzeneiweiss' ist nach den neueren exakteren Untersuchungen je nach seiner Darstellung aus verschiedenen Pflanzen etwas verschieden gefunden worden. Auch ist der Glaube an die unbedingte Gleichheit des Eiweiss' von verschiedener Herkunft etwas erschüttert worden. Und in der That kann diese Erfahrung nicht wunder nehmen, wenn man bedenkt, dass man es im Grunde mit einer Stoffgruppe zu thun hat, die wesentlich durch die Gleichheit ihrer Reaktionen gebildet worden ist.

Es wurden gefunden*):

C	H	N	O	S
52,3—54,3 %	7,1—7,7 %	15,5—17,6 %	20,6—23,0 %	0,8—1,6 %.

Vergleicht man diese Zusammensetzung mit der des tierischen Eiweiss', z. B. des Eiweiss' aus Blutserum,

C	H	N	O	S
53,0 %	7,1 %	15,6 %	22,9 %	1,1 %,

so sieht man allerdings, dass die Angaben für diese zwischen jene hineinfallen; dennoch kann eine wirkliche Identität beider Substanzen nicht behauptet werden, um so weniger, als man in neuerer Zeit sich gezwungen sah, mehrere tierische Albumine anzunehmen, die sich z. B. durch ihren Schwefelgehalt unterscheiden.

Eine einigermaassen sichere Formel hat für das Eiweiss sowie für die Proteïnsubstanzen überhaupt noch nicht herausgerechnet werden können, da die Differenzen in den gefundenen Zahlen noch die Wahl der Zahl der Atome willkürlich machen. Bei den hohen Zahlen, mit denen man es bei Formeln von so grossem Molekulargewicht, wie es die Proteïnstoffe jedenfalls besitzen, zu thun hat, erzeugt natürlich ein verhältnismässig kleiner Versuchsfehler eine viel grössere Unsicherheit in der Feststellung der Formel als bei Verbindungen von kleiner Atomzahl. Selbstverständlich kann unter solchen Umständen noch viel weniger an eine Ermittelung der *chemischen Konstitution* der Proteïnstoffe im allgemeinen und des Pflanzeneiweiss' im besonderen gedacht werden. Über dieselbe ist in der That nichts bekannt, als was etwa aus den vorhin erwähnten Zersetzungsprodukten zu erschliessen ist, und schon aus diesem Grunde wird auch die Möglichkeit einer künstlichen Synthese dieser Stoffe noch für lange Zeit in Zweifel gezogen werden können**).

*) Ich habe mich in dieser Ausgabe ganz nach den zuverlässigen Ritthausen'schen Angaben (Die Eiweisskörper etc., Bonn 1872) gerichtet.

**) Doch hat Grimaux durch Zusammenschmelzen von Asparaginsäureanhydrit mit Harnstoff eine Substanz dargestellt, die wenigstens die Gerinnungsfähigkeit des Eiweiss' zeigt. Vergl. Bunge: Lehrb. d. phys. u. pathol. Chemie, 1887, p. 58; auch Schützenberger: Compt. rend., 112, p. 198.

Über die Verbreitung des Pflanzeneiweiss' brauche ich kaum besondere Mitteilungen zn machen; dieselbe ergiebt sich schon aus dem, was wir früher über das Vorkommen des Protoplasmas in der Pflanze gesagt haben. Wir haben damals hervorgehoben, dass in allen den Zellen, die noch der Sitz lebhafter Lebenserscheinungen, namentlich von Neubildungen, sind, sich ein eiweissreiches Protoplasma befindet. Es sind also dieselben Pflanzenteile, welche auch der Sitz intensiver Atmungserscheinungen sind, in denen wir nach den gegebenen Auseinandersetzungen das Pflanzeneiweiss vorzugsweise zu suchen haben, obschon dieses bei der komplizierten Zusammensetzung, welche die Protoplasmamassen einigen in dieser Richtung angestellen Untersuchungen zufolge besitzen, natürlich nicht der einzige Proteïnstoff sein wird, welcher in jenem Elementarorgane der Pflanze vorkommt.

Jedenfalls spielen im Protoplasma der Pflanze ebenso wie in dem des Tieres neben den eigentlichen Albuminstoffen auch noch die *Globulinstoffe* eine Rolle und sind in den sogenannten Proteïnkörnern mancher Samen bereits nachgewiesen, und dass dieselben noch nicht häufiger in demselben gefunden worden sind, daran ist wohl nur der ganz äusserliche Umstand schuld, dass der Arbeiter auf dem Gebiete der Tierphysiologie mehr sind als auf dem der Pflanzenphysilogie*). Globulin- und Albuminstoffe haben übrigens die grösste Verwandtschaft in ihren Eigenschaften und jedenfalls auch in ihren physiologischen Funktionen. Ein Hauptunterschied ist nur, dass die ersteren verdünnter Chloralkalien zu ihrer Lösung bedürfen, während für (nicht koaguliertes) Albumin blosses Wasser dazu genügend ist. Überhaupt ist das Globulin von geringerer Löslichkeit und wird leichter durch viel Salz niedergeschlagen.

Auch nach *Pepton*, welches Proteïn als kleinstes Molekül und daher in leicht beweglicher Form darstellt, wird man bei der Pflanzenanalyse mehr und mehr zu suchen haben**). Gerade im Zustande der vegetativen Entwickelung ist das Vorkommen dieser Form, welche dem Eiweiss ein gewisse Diffundierbarkeit gestatten würde, am wahrscheinlichsten. Seit dem Bekanntwerden der fleischessenden Pflanzen und des Papaïns in der Carica papaya ist dessen Vorkommen ja ohnedies gewiss. In vieler Beziehung und nicht zum wenigsten durch seine Entstehungsweise unter Mitwirkung von Enzymen scheinen die Peptone unter den Eiweissstoffen die Rolle zu spielen, wie die Glycosen in der Gruppe der Kohlenhydrate, d. h. die des kleinsten Moleküls, ohne den Gruppencharakter einzubüssen. Doch sind die einschlagenden Untersuchungen, namentlich der Unreinheit der zur Peptonisierung verwendeten Grundstoffe wegen, nicht ausreichend, um einen Schluss auf dieses analoge Verhalten vollkommen zu erhärten. Namentlich ist das Statthaben einer wirklichen Hydrolyse bei der Peptonisierung erst unvollkommen nachgewiesen ***).

*) Da man die Interessen der menschlichen Gesundheit bis dahin höher gehalten hat als die der Landwirtschaft.

**) Über das Vorkommen von Peptonen in Pflanzen vergl. Zeitschrift für Biologie, 30, p. 447; Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1891, p. 502.

***) Doch spricht der höhere Sauerstoff-, der kleinere Stickstoffgehalt des Peptons für diese Auffassung. Vergl. Schützenberger: Compt. rend., 115, p. 208.

In den älteren Gewebeteilen, welche die Fähigkeit verloren haben, aus sich heraus neue Zellbildung zu veranlassen, ist wenig oder kein Protoplasma mehr zu finden, und damit scheint in der Regel auch das Pflanzeneiweiss in den Hintergrund gedrängt. Doch enthalten z. B. auch die ruhenden Pflanzensamen ansehnliche Mengen von gerinnbarem Albumin und Globulin.

Aus allem dem Gesagten aber geht für die Rolle der löslichen Eiweissstoffe in der Pflanze hervor, dass sie unter den stickstoffhaltigen organischen Bestandteilen eine ähnliche Stelle einnimmt, wie etwa der Zucker unter den stickstofffreien organischen Bestandteilen der Pflanze. Beide repräsentieren vorwiegend die *physiologisch thätige und zirkulierende Form* der beiden Stoffgruppen, deren Glieder sie sind, während der Ruhezustand in den Reservestoffbehältern, wie wir sogleich auch für die Proteïnstoffe erkennen werden, überwiegend in anderer Gestalt angetreten wird. Unter den löslichen Eiweissstoffen würden aber, wie schon gesagt, namentlich in dieser Hinsicht die Peptone ins Auge zu fassen sein, da ihnen eine grosse Diffusionsfähigkeit zukommt, welche dem Albumin und Globulin ihres grossen Moleküls wegen abgeht.

Während die Gruppe der in der Pflanze gelösten Proteïnstoffe, soweit wir wissen, nur durch verhältnismässig wenig Substanzen gebildet wird, haben wir in der andern Gruppe der in ungelöster Form im Ruhezustand abgelagerten Proteïnstoffe eine grössere Reihe einzelner Substanzen von erheblich verschiedenen Eigenschaften aufzuzählen, ganz analog wie wir gegenüber den zirkulierenden Zuckerarten unter den Kohlenhydraten eine ganze Reihe von ruhenden stickstofffreien Rerservestoffen, wie Inulin, Stärkemehl, Rohrzucker etc., zu verzeichnen hatten.

Um die ganze Sachlage sogleich an einem populären Beispiele klarzulegen, möchte ich die Aufmerksamkeit auf den allbekannten Weizenkleber lenken. Ich knete diesen Teig aus Weizenmehl, der vor dem Beginne der Vorlesung bereitet worden ist, sorgfältig in Wasser aus und behalte nach einiger Zeit Knetens, nachdem das Stärkemehl an das Wasser übergegangen und dasselbe milchig getrübt hat, diese zähe Masse übrig, deren äussere Eigenschaften den meisten aus den Knabenjahren bekannt sein dürften, als das Kauen von Spelzkörnern aus der eingefahrenen Ernte zu den angenehmen Ergötzlichkeiten gerechnet wurde. Wenn wir nun diesen klebrigen Stoff, welcher nichts anderes ist als ein Gemenge der proteïnartigen Reservestoffe des Weizenkorns, einer genauern Untersuchung unterwerfen, so gelingt es leicht, mehrere Substanzen von ganz verschiedenen Eigenschaften voneinander zu trennen, die gleichwohl alle wirkliche Proteïnstoffe sind.

Wir können gleich bei diesem Beispiel bleiben und die verschiedenen Substanzen, die aus dem Kleber des Weizens erhalten werden können, wenigstens aufzählen *).

*) Bei dem unzweifelhaften Verdienste, welches die Arbeiten von Ritthausen über diesen Gegenstand auch besitzen mögen, kann es doch nicht wunder nehmen, dass bei der grossen Zahl der zu trennenden Körper und den unvollkommenen Methoden, die uns hierfür zu Gebote stehen, eine strenge Kritik der gewonnenen Resultate es vermocht hat, dieselben grossenteils wieder in Zweifel zu ziehen. Die Bedeutung der in Rede stehenden Arbeiten beruht also mehr in der vorläufigen Sichtung des ganzen Arbeitsfeldes und in der Gewinnung

Das *Glutencaseïn**) (Ritthausen) ist im Weingeist unlöslich und auf dieser Eigenschaft, durch welche es sich von den nachher ins Auge zu fassenden Substanzen unterscheidet, beruht die Reindarstellung dieser im Kleber enthaltenen Proteïnsubstanz. Dasselbe ist ebenso in kaltem und heissem Wasser durchaus unlöslich, dagegen leicht löslich, ohne Änderung zu erleiden, in verdünnter Kali- und Natronlauge. Es ist dem Legumin (siehe später) in seinen Eigenschaften so ähnlich, dass man es mit demselben als Spezies der Gruppe Pflanzencaseïn auffasst**).

Sodann wurde eine andere Substanz aus dem Weizenkleber abgeschieden, der *Pflanzenleim* oder *Gliadin*. Diese Substanz ist löslich in sehr konzentriertem (obwohl nicht absolutem) Alkohol und wird mittelst dieser Eigenschaft von dem eben behandelten Körper getrennt. Die Eigenschaften des Pflanzenleims sind denen des tierischen ähnlich. Derselbe ist in kaltem Wasser beinahe löslich, in heissem leicht löslich***).

Das Gliadin ist auch wie jener stickstoffreicher als die andern bisher besprochenen Proteïnsubstanzen. Beim Befeuchten des Pflanzenleims mit Wasser, wobei er in der (vom tierischen Leime her) bekannten Weise aufquillt, zeigt derselbe auch den jenem so eigentümlichen Geruch. Trotzdem ist bisher nicht nachgewiesen, dass der Pflanzenleim in jener hauptsächlichsten Eigenschaft dem tierischen gleichkommt, dass er nämlich einen geringeren Nährwert besitzt als die eigentlichen Proteïnstoffe. Dieser Unterschied beruht, wie man annimmt, in der nachweislichen konstitutionellen Verschiedenheit der eigentlichen Leimstoffe†) des Tierkörpers, welche bei ihrer Spaltung kein Tyrosin oder andere aromatische Spaltungsprodukte liefern.

Der reichliche Gehalt an dem zuletzt genannten Proteïnstoff verleiht dem Kleber die ihm eigentümlichen und für das Backen wichtigen Eigenschaften grosser Zähig-

einzelner wichtigen Resultate als in der Darstellung eines abgeschlossenen Werkes — Grund genug, dem Lernenden nicht alle Details vorzuführen. In Bezug auf die erwähnte Kritik vergl. u. a. die Ausführungen von Th. Weyl in Pflüger's Archiv, XII, p. 635.

*) Von Ritthausen früher Paracaseïn genannt. Ausser im Getreidekleber auch im Rübsensamen gefunden und wohl mit dem Avenin und Hordeïn identisch, von Osborne (Chem. Ber., 1891, R. 972) Glutinon genannt.

**) Die Zusammensetzung des Glutencaseïns wurde gefunden:

C	H	N	O	S
51,0—52,9 %	6,7—7,0 %	16,2—17,3 %	21,9—24,5 %	0,8—1,1 %,

also nicht ganz unbedeutend sauerstoffreicher, kohlen- und wasserstoffärmer als das Eiweiss. Ritthausen: A. a. O. p. 33—35, 93. Als Grenzen wurden Mittelzahlen, die sich auf Substanzen ein und derselben Herkunft bezogen, gewählt.

***) Seine Zusammensetzung ist im Durchschnitt mehrerer Analysen:

C	H	N	O	S
52,7 %	7,1 %	18,0 %	21,4 %	0,85 %.

†) Der Leim wird gewöhnlich nur als eine Art Anhängsel zu den Proteïnsubstanzen betrachtet, und hieran ist wohl vorzugsweise sein etwas abweichendes Verhalten als Nährstoff der höheren Tierwelt schuld. Versuche lehren, dass er nur wie die stickstofffreien Nährstoffe den Proteïnumsatz einschränkt, nicht aber selbst in den Organen als plastischer Nährstoff niedergelegt werden kann. Vergl. die Untersuchungen C. Voit's: Zeitschr. für Biologie (in verschiedenen Jahrgängen).

keit*). In dem nicht kleberbildenden und daher beim Backen sich ganz anders verhaltenden Roggenmehl ist wenig oder kein Gliadin vorhanden. Dasselbe hat auch noch die wichtige Eigentümlichkeit, dass es leicht frei oder beinahe frei von Asche dargestellt werden kann.

Früher wurden noch mehr Kleberproteïnstoffe**) unterschieden, die jedoch vermutlich nichts weiter sind als Gemische der beiden von uns genannten Bestandteile mit ihren charakteristischen Eigenschaften.

Während das Vorkommen des Gliadins für den eigentlichen Kleber charakteristisch ist, sind nun die übrigen Pflanzensamen soweit bekannt nur im Besitze von Proteïnstoffen, welche sich an die Eigenschaften des anderen Bestandteils des Klebers, des Glutencaseïns, anschliessen. Wir haben für diesen Proteïnstoff schon als charakteristisch angeführt seine Unlöslichkeit in Wasser und dass verdünntes Alkali (oder alkalisch reagierendes Phosphat) dazu erforderlich ist, um ihn in Lösung überzuführen.

Dies ist nun der Gruppencharakter auch der tierischen Caseïne, wodurch sich diese von den wasserlöslichen Albuminen und von den Globulinen, die in Neutralsalz löslich sind, unterscheiden. Jene werden dadurch deutlich charakterisiert als schwache Säuren, deren Salze geradezu analog den Salzen anderer Säuren als Albuminate bezeichnet werden.

Diese Gruppe ist nun im Pflanzenreich unter den ruhenden Proteïnstoffen der Samen mehrfach vertreten, insofern man wenigstens diesen Stoffen wegen Differenzen in untergeordneten Eigenschaften oder kleinen Unterschieden der Zusammensetzung verschiedene Namen gegeben hat.

Hierher gehört z. B. das *Legumin****), früher auch nach Liebig's Vorgang *Pflanzencaseïn* genannt, welcher Name aber jetzt von Ritthausen für die ganze Gruppe in Anspruch genommen wird.

*) Über eine übrigens nicht ganz befriedigende Methode, den Gehalt des Klebers an diesen Stoffen auf praktische Weise zu messen, vergl. Nobbe, Mitteilungen auf der Magdeburger Naturforscherversammlung 1884 über das Aleurometer.

**) Das sehr unpassend so genannte Glutenfibrin, denn es zeigt keineswegs die für das tierische Fibrin so charakteristische Eigenschaft der spontanen Gerinnung, und das Mucedin. Sie wurden abgeschieden durch mittlere Löslichkeit in Alkohol — ein sehr unsicheres Mittel, um zu reinen Substanzen zu gelangen. Ihre Analysen zeigen allerdings einen etwas höheren Kohlenstoffgehalt, aber das beweist bei der unvollständigen Reinheit von allen dergleichen Präparaten nichts gegen deren Natur als Gemische der im Texte behandelten Substanzen.

***) Vergl. L. Gmelin: Handb. d. Chemie, VII, p. 2362; daselbst vollständige Litteraturangaben. Auch Journ. f. pr. Chem., T. 103, p. 95, 193, 273. Das Legumin ist erst in neuester Zeit Gegenstand exakter Bearbeitungen geworden, und zwar ist es wiederum Ritthausen, dem wir in dieser Beziehung das meiste zu danken haben. Die Angaben über die Zusammensetzung des Legumins differieren indessen aus mehrfach genannten Gründen nach den Angaben dieses Forschers sehr erheblich voneinander.

Diese Angaben lauten je nach Ursprung und Darstellungsweise der analysierten Substanz, dieselbe immer als aschenfrei gedacht:

C	H	N	O	S
51,5%	7,0%	14,7—16,8%	24,3—26,4%	0,4—0,5%.

Das Legumin ist, wie dies der Name andeutet, der Hauptproteïnstoff der Leguminosen; dasselbe ist namentlich in Erbsen, Bohnen und Linsen in grosser Menge vorhanden, es bildet dort jedenfalls die Hauptmenge der daselbst niedergelegten Reserveproteïnstoffe. Es gelingt jedoch auch, denselben Stoff aus Teilen anderer Pflanzen, wie z. B. aus den Haferkörnern und den Kernen des Steinobstes*) etc., zu gewinnen, doch ist es schon nach den jetzt vorliegenden Untersuchungen unwahrscheinlich, dass man es in all diesen Fällen wirklich mit einer und derselben chemischen Verbindung zu thun hat.

Das Legumin dieser Samen ist teilweise in Wasser löslich und kann z. B. aus den Hülsenfrüchten durch Einweichen derselben in warmem Wasser und einige weitere Manipulationen gewonnen werden; es verliert aber diese Löslichkeit, nachdem es durch Reindarstellung einen Teil seines Aschengehaltes, bestehend hauptsächlich in basischem Kaliphosphat, eingebüsst hat. Hieraus ergiebt sich, dass es nicht an sich löslich ist, sondern die Löslichkeit in diesem Falle der Anwesenheit des Kalis verdankt. Dasselbe gerinnt auch, wie aus dem eben genannten Verfahren hervorgeht, nicht in der Hitze, sondern die warmen Lösungen setzen nur an der Oberfläche der Flüssigkeit, ähnlich der Milch, Häute ab. Durch Zusatz von Essigsäure und ebenso von Alkohol, nach einer Angabe auch durch Lab (Dumas und Cahours) gerinnt dagegen die wässrige Leguminlösung in dem ersteren Falle, weil ihm dadurch das Kali entzogen wird. Es liegt sodann eine Reihe von Angaben vor — und dies ist hier zu erwähnen nötig — deren Berücksichtigung wir bis dahin unterlassen haben, nach welchen die verschiedenen Proteïnstoffe noch andere konstituierende Elemente in sich enthalten ausser den genannten fünf. So wird für eine Reihe derselben, wie z. B. für das zuletzt behandelte Legumin, ein Gehalt an *Phosphor* (1,0 %) als charakteristisch angesehen, und dasselbe reagiert z. T. infolge dieses Gehalts an Phosphorsäure stets ein wenig sauer.

Natürlich ist sodann für alle Pflanzencaseïne, soweit sie wenigstens in Lösung bleiben sollen, ein Gehalt an basischen Aschenbestandteilen, gewöhnlich Kali, notwendig. Aber diese Bestandteile können, wie aus mehreren bereits gemachten Mitteilungen hervorgeht, den Proteïnstoffen entzogen werden, ohne dass sie deshalb den Charakter als solche (wohl den Gruppencharakter) verlieren. Etwas anderes gilt jedoch für einen anderen Bestandteil, auf den alle vorhandenen Analysen hinweisen, für den Schwefel, der etwa an $^1/_2$—$1\,^1/_2$ % in jedem Proteïnstoffe in jeder Modifikation vorkommt und daher zu den konstituierenden Bestandteilen des Proteïnmoleküls überhaupt gerechnet werden muss. Aus der Thatsache, dass sich dieser Bestandteil bei Spaltungen teilweise in der Form von Schwefelwasserstoff abscheidet, kann man überdies schliessen, dass er in reduzierter Form im Molekül vorkommt.

Ferner schliesst sich hier noch als dritter Proteïnstoff der Gruppe Pflanzencaseïn das *Conglutin* an, welches hauptsächlich in den Mandeln und in den Lupinen aufgefunden worden ist. Dasselbe muss vom Legumin nicht nur seiner abweichenden

*) Über die so gewonnenen Stoffe vergl. L. Gmelin a. a. O. p. 2368 u. f.

Zusammensetzung, sondern auch einiger Reaktionen wegen auseinandergehalten werden*).

Auch im Maissamen scheint ein ähnlicher Körper vorzukommen. Charakteristisch für die Zusammensetzung ist also in erster Linie der geringe Kohlenstoff- und der sehr hohe Stickstoffgehalt, welch letzterer das Conglutin dem tierischen und pflanzlichen Leime nahebringt.

Als schwierigst löslicher Eiweissstoff ist endlich das ursprünglich in den Zellkernen der Eiterkörperchen nachgewiesene, aber auch sonst im Pflanzen- und Tierkörper die übrigen Eiweissstoffe begleitende *Nucleïn* zu nennen, ein Stoff, der in den bisher genannten Lösungsmitteln mit Ausnahme von Alkali und sogar gegenüber den pepsinhaltigen Verdauungsflüssigkeiten resistent ist. Die weitverbreiteten Tabellen über Verdaulichkeit der pflanzlichen Nährstoffe geben über das quantitative Vorkommen dieser Stoffe in den verschiedenen vegetabilischen Organen Aufschluss. Diese Körper sind ausserordentlich phosphorreich**).

Es geht aus den gemachten Angaben hervor, dass diese Reaktionen, durch welche die einzelnen Proteïnkörper sich voneinander unterscheiden, nicht etwa so scharf sind, dass es auf sie hin möglich wäre, die einzelnen Substanzen, wo sie in den Pflanzen gemischt miteinander vorkommen, durch eine einmalige Operation schon völlig zu trennen. Es ist wegen der geringen Schärfe dieser Trennungsmethoden zur Zeit durchaus unthunlich, in irgend einem Pflanzenteil den Gehalt an den einzelnen Proteïnstoffen festzustellen; und derselbe Übelstand verhindert auch häufig die Möglichkeit einer quantitativen Scheidung zwischen Proteïnstoffen und andern organischen Substanzen.

Dennoch findet man in den Analysen von Pflanzen und Pflanzenteilen (Futtermitteln und dergleichen) stets einen Gehalt an Proteïnstoffen angegeben, und es ist durchaus notwendig, dass ich den Weg mitteile, auf dem diese Angaben gewonnen sind. Derselbe ist nur möglich einzuschlagen, weil oder insofern in den Pflanzen andere stickstoffhaltige Stoffe als die Proteïnstoffe nur in ganz zurücktretender Menge vorhanden sind. Wir werden gleich nachher sehen, dass es kaum noch einige nennenswerte Körpergruppen von stickstoffhaltigen organischen Substanzen giebt, die in dem Pflanzenorganismus mit einiger Regelmässigkeit gefunden werden, und besonders zu diesem Zwecke ausgeführte Analysen lehren andererseits, dass anorganische stickstoffhaltige Stoffe wie Ammoniak und Salpetersäure***), wie es scheint, nach ihrem Eintritt in die Pflanze gewöhnlich so rasch verarbeitet werden zu stickstoffhaltigen organischen Substanzen — oder, wie wir jetzt sagen können, zu Proteïn-

*) Die Zusammensetzung des Conglutins aus Lupinen ist im Mittel:

	C	H	N	S	O
	50,7%	6,9%	18,3%	0,9%	23,2%
aus Mandeln	50,2%	6,8%	18,4%	0,5%	24,1%.

**) 3—9% Phosphor. Die Abscheidung der verdaulichen Eiweissstoffe vom Nucleïn geschieht am exaktesten nach der durch die posthume Publikation G. Kühn's modifizierte Methode von Stutzer (48stündige künstliche Verdauung mit Übermaass von Pepsin aus Schweinemagen).

***) Frühling und Grouven: Landw. Versuchsst., B. VIII, p. 471; B. XI, p. 9 u. 150.

stoffen —, dass meistens nur sehr geringe und gegen den Gehalt an diesen letzteren beinahe verschwindende Mengen von Stickstoff im vegetabilischen Organismus existieren, die nicht auf Kosten von diesen Proteïnstoffen gesetzt werden könnten. Ausnahmen giebt es hier freilich, namentlich infolge von Salpetersäuregehalt, wie z. B. in den Blättern gut gedüngter Rüben und Kartoffeln*), und dann, wie wir gleich sehen werden, infolge des Gehalts von allen vegetierenden Organen an Amidostoffen. Dagegen ist das Gesagte völlig zutreffend für die Samen, die ja immer in erster Linie für die tierische Ernährung in Betracht kommen und darum unser volles Interesse in Anspruch nehmen.

Wir haben dann ferner ja gerade vorhin erwähnt, dass der Stickstoffgehalt der verschiedenartigen Proteïnsubstanzen annähernd einander gleich ist, nämlich in den von uns berücksichtigten Angaben nur schwankt zwischen 14,7—18,4 %. So ist es denn möglich, *annähernd* genau den Gehalt einer Pflanzensubstanz an Proteïnstoffen durch eine einfache Stickstoffbestimmung festzustellen, und dies ist in der That die Methode, deren man sich zur Bestimmung dieser wichtigen Substanzen bis vor kurzem allein bedienen konnte**). Man hat dabei den Stickstoffgehalt der verschiedenen Proteïnstoffe auf 16 % angenommen und unter dieser Voraussetzung die Zahl des gefundenen Stickstoffs mit 6,25 multipliziert, um die für die Proteïnstoffe geltende Zahl zu erhalten***).

Der Gehalt einiger dieser gewöhnlichen Kulturpflanzen an auf diese Weise gefundenen Proteïnstoffen, welche man auch als Roh-Proteïne (analog den Ausdrücken Roh-Faser, Roh-Fett) bezeichnet, ist folgender:

Futtermais (grün)	1,2 %
Zuckerrübenblätter (grün)	1,9 „
Wiesengras	3,1 „
Roter Klee	3,7 „
Gurke und Kürbis	1,4 „
Turnips (frisch)	1,0 „
Kartoffeln (frisch)	2,0 „

*) Vergl. Frühling und Grouven: Landw. Versuchsst., Bd. IX, p. 153.

**) Erst in neuester Zeit wird bei der praktischen Pflanzenanalyse neben den Proteïnstoffen noch wenigstens auf die amidartigen Stoffe einige Rücksicht genommen, indem man beide voneinander zu trennen versucht. Dies geschieht gewöhnlich nach der Methode von Stutzer, wobei alle Eiweissstoffe durch Kupferoxydhydrat niedergeschlagen werden. Auch Gerbsäure leistet nach einem Verfahren von Emmerling gute Dienste.

***) Da wir aber nach den neueren Untersuchungen berechtigt sind, den durchschnittlichen Stickstoffgehalt der in Rede stehenden Stoffe etwas höher, vielleicht am zutreffendsten gleich 17 % anzunehmen, so wird auch jener Faktor einmal einer Änderung, zu der aus praktischen Gründen ein allgemeines Übereinkommen notwendig ist, unterzogen werden müssen. Am richtigsten würde derselbe festgesetzt werden (entsprechend 17 %) = 5,88, zieht man nicht am Ende gar vor, für verschiedene Pflanzenteile, je nachdem in ihnen vorzugsweise lösliches Eiweiss oder Pflanzenleim oder irgend eine andere Proteïnsubstanz vorausgesetzt werden darf, verschiedene Faktoren zu wählen. Für die Praxis der Fütterungschemie wäre natürlich ein derartiges Verfahren vorerst nicht zu empfehlen, da sich möglicherweise die physiologische Gleichwertigkeit der verschiedenen Stoffe auf einen gleichen Stickstoffgehalt bezieht.

Zwiebel (frisch)	1,5 %
Stroh von Sommergetreide	2,0 „
Stroh von Winterkorn	3,0 „
Erbsenstroh	7,3 „
Buchweizenkörner	7,8 „
Gerstenkörner	10,0 „
Maiskörner	10,7 „
Roggenkörner	11,0 „
Haferkörner	12,0 „
Weizenkörner	13,2 „
Erbsen (Samen)	22,4 „
Bohnen (Samen)	24,1 „
Lupinen „	34,5 „
Morchel	3,1 „
Trüffel	8,0 „.

Von diesen Mengen ist in den Samen das meiste Rein-Proteïn, in den vegetierenden Teilen aber nur ein Bruchteil und für die Zwecke der Fütterung ist vom Rein-Proteïn wieder in allen Fällen ein Bruchteil für unverdauliches Nucleïn in Abzug zu bringen.

In einer noch unzureichend aufgeklärten Beziehung zu den eigentlichen Proteïnstoffen stehen einige aus diesen, oder besser gesagt aus dem Protoplasma, in gewissen Vegetationsstadien sich entwickelnden stickstoffhaltigen organischen Stoffe wenig studierter Zusammensetzung, welche die Eigenschaften sogenannter Fermente oder besser Enzyme, d. h. die Fähigkeit besitzen, chemische Veränderungen anderer Stoffe zu bedingen, ohne sich in erheblichem Grade an der Reaktion durch eigene Veränderung zu beteiligen. Das Wichtigste, was man von diesen Stoffen und deren Funktionen in der Pflanze weiss, soll hier in Kürze Mitteilung finden*).

Der gemeinschaftliche Charakter aller Enzyme ist zunächst: Löslichkeit in Wasser und Glycerin, Unlöslichkeit in Alkohol, langsames Niederfallen mit in der Flüssigkeit entstehenden Niederschlägen. Auf der Variation dieser Methoden beruht deren sogenannte Reindarstellung. Ferner haben alle Enzyme die Eigenschaft, nicht fern von der Gerinnungstemperatur des Eiweiss' ihre ganze charakteristische Wirkungsfähigkeit einzubüssen. Eine feste Zusammensetzung konnte bisher für keines der Enzyme gefunden werden, und auch aus andern Gründen hegt man die Vermutung, dass man es in ihnen nicht mit eigentlichen chemischen Individuen, sondern vielmehr mit Organismenresten zu thun habe, die sich auch noch einen Rest der ursprünglichen Organisation erhalten haben. In der Pflanzenanalyse figurieren diese merkwürdigen Stoffe nicht, teils weil sie quantitativ sehr zurücktreten und dann weil sie nur belebte Modifikationen anderer Stoffe, vermutlich grossenteils der Proteïnstoffe selber sind.

*) Eine ausführliche Darstellung der „Lehre von den chemischen Fermenten" in dem so betitelten Werke des Verfassers. Heidelberg 1882.

Eines der Enzyme:

Das *Emulsin* wird in den Mandeln gefunden, hat die eigentümliche Fähigkeit, eine Reihe von Glycosiden, wie z. B. das Amygdalin, das Salicin, zu der früher (bei Besprechung der Glycoside) erwähnten Spaltung, deren diese Stoffe fähig sind, zu veranlassen. Das Amygdalin zerfällt bei diesem Prozess in Bittermandelöl, Blausäure und Zucker, das Salicin in Saligenin und Zucker. Augenscheinlich hat das Emulsin durch diese Fermentwirkung eine physiologische Bedeutung bei dem Auskeimen der Mandeln und anderer Samen von ähnlicher Beschaffenheit, indem das Amygdalin durch Abspaltung von Zucker den jungen Keim mit organischer Nahrung versorgt, während die anderen Spaltungsprodukte durch ihre Giftigkeit Schädlinge von der jungen Keimpflanze entfernt halten.

Von noch grösserer Wichtigkeit ist aber jedenfalls die *Diastase.* Dieselbe bildet sich vornehmlich beim Keimen der Getreidesamen, in grösster Menge in der keimenden Gerste, kann aber in kleineren Mengen in den meisten Pflanzen nachgewiesen werden. Wenn man das sogenannte Malz, das nichts anderes ist als gekeimte Gerste, mit Wasser extrahiert, den konzentrierten Extrakt durch starken Alkohol fällt, also durch das allgemeine auf die Gewinnung der Enzyme hinzielende Verfahren, so erhält man einen wieder leicht in Wasser löslichen Körper, dem äusseren Ansehen nach wieder von sehr wenig charakteristischen Eigenschaften, dem aber die eigentümliche Wirkung zukommt, schon in sehr kleinen Mengen und ohne, wie es scheint, selbst eine Veränderung zu erleiden, Stärkemehl in Dextrin und Maltose zu verwandeln, also genau wie das Emulsin, bei seiner Wirkung auf die Glycoside, Addition von Wasser zu bewirken, also wie jenes, Stoffe aus dem ruhenden Zustand in die bildsame Masse der Zuckerarten zu verwandeln*). Diese Fähigkeit, welche der bei der Keimung aus irgend einer Proteïnsubstanz des Klebers sich bildenden Diastase zukommt, ist zwar bei ziemlich hoher Temperatur (etwa 60 ° C.) noch möglich und macht sich sogar bei dieser mit dem grössten Erfolge geltend, wird aber wieder, wie schon angegeben, durch ein noch weiteres Erhitzen bis gegen 80 ° ein- für allemal vernichtet.

Bei dieser nachgewiesenermaassen in hohem Grade existierenden Befähigung der Diastase, ausserhalb des Organismus der Pflanze Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, müssen wir dieser Substanz dieselbe Befähigung unfehlbar auch innerhalb dieses Organismus zuschreiben, und es erscheint so die Annahme gestattet, dass derselben die hervorragende physiologische Funktion zukomme, *die organischen Reservestoffe* teilweise *in die Form überzuführen, in der sie im Protoplasma löslich sind,* und als welche sie direkt zu den Neubildungen, Ablagerung von Zellhaut u. s. w. Verwendung finden kann. Je mehr man in allen möglichen Samen

*) Durch Wijsman wurde neuerdings die Diastase (begrifflich wenn auch nicht materiell, aber darum nicht weniger zwingend) in zwei Enzyme zerlegt, von denen das eine, die *Dextrase*, Stärke in Dextrin (Maltodextrin) und zugleich Erythrogranulose (ein sich mit Jod rotfärbendes Dextrin) in ein anderes Dextrin (Leukodextrin) umwandelt, während das andere, die *Maltase*, Stärke in Maltose und Erythrogranulose und das durch Dextrose erzeugte Dextrin ganz in Maltose verändert. Das erstere ist bei hoher Temperatur beständiger und findet sich mehr in der Eiweisslage des Malzkornes. (Wijsman: Die Diastase. Amsterdam 1889.)

nach Diastase sucht, je allgemeiner finden wir diesen Stoff verbreitet, und so dürfen wir derselben eine sehr allgemeine Rolle zuschreiben*).

Auch ein pepsinartiges (Eiweiss in Pepton verwandelndes) Ferment hat man in vielen Pflanzen, namentlich den Drüsen der sogenannten fleischessenden Pflanzen, dazu in vielen (nicht allen) Keimpflanzen, z. B. von Gerste, Mais, Mohn, anzunehmen, und auch die Funktionen desselben sind ganz ähnlich der Wirkung des wirklichen Pepsins im Magen der Tiere anzunehmen.

Noch eine andere Stoffklasse, die zu den Proteïnstoffen in einer ähnlichen genetischen Beziehung steht wie die eben erwähnten Substanzen, aber eine ganz andere Bedeutung besitzt wie sie, ist in den letzten Jahren in den Brennpunkt der Aufmerksamkeit gerückt worden. Als Repräsentant für sie kann gelten das *Asparagin*, dessen chemische Natur wohl erkannt ist und das in der Chemie als Amid der Amidobernsteinsäure oder Asparaginsäure

$$\begin{array}{l} CH\ (NH_2) - CO - NH_2 \\ | \\ CH_2 - CO\ OH \end{array}$$

bezeichnet wird. Dieser wohlkrystallisierende Stoff kommt in grösseren Mengen in den jungen Sprossen der Spargel, in den Schwarzwurzeln (Scorconera), in den Blättern und Stengeln der Wicken und Lupinen und, wie Boussingault**) zuerst gezeigt hat, überhaupt in etiolierten Pflanzen und vom Lichte abgeschlossenen Pflanzenteilen besonders Keimlingen vor, um nach einiger Zeit unter dem Einflusse des Lichts und der von diesem abhängigen Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Zelle***) zu verschwinden. Hieraus, sowie aus den Beobachtungen von Hartig, Pfeffer und vor allem Borodin†) ergiebt sich mit Wahrscheinlichkeit die physiologische Rolle des Asparagins als eines Spaltungsproduktes eines oder mehrerer Proteïnkörper — ich erinnere an das früher erwähnte Auftreten der Asparaginsäure bei der künstlichen Zersetzung dieser Körper —, wenn diese z. B. durch Atmungserscheinungen oxydiert werden, und ebenso als eines Baustoffs bei deren Rekonstituierung. Es würde dieses Verhältnis bei der Schwerdiffundierbarkeit der Proteïnstoffe eine grosse Bedeutung haben für die Translokation des Stickstoffs in der Pflanze, zumal während der Keimung. — Auf die

*) Vergl. auch Wortmann: Botan. Zeitung, 1890, Nr. 37—41. Von anderen Enzymen ist noch zu erwähnen das Myrosin im weissen Senfsamen, ein Papaïn genanntes Enzym in dem Milchsaft von Carica Papaya und Ficus elastica u. s. w.

**) Agronomie etc., IV, 1868, p. 295. Ferner Pfeffer: Landw. Versuchsst., B. 15, p. 114. Ein anderes Spaltungsprodukt der Proteïnstoffe, resp. Baustoff derselben würde dann Zucker oder sonst ein Kohlenhydrat sein. Umsetzungsgleichungen sind nach den früher (Vorlesung 6) besprochenen Grundsätzen leicht ausfindig zu machen; z. B.:

$$2C_{12}H_{19}N_3O_4 + 8O + 5H_2O = 3C_4H_8N_2O_3 + C_{12}H_{24}O_{12}$$

und umgekehrt $3C_4H_8N_2O_3 + C_{16}H_{32}O_{16} = 2C_{12}H_{19}N_3O_4 + 4CO_2 + 9H_2O$.

Die letztere Gleichung ist von Henneberg (Landw. Versuchsst., B. 16, p. 184) aufgestellt worden. — Über das Vorkommen von Asparagin bei der Keimung der Leguminosen vergl. auch Sachsse und Kormann: Landw. Versuchsst., B. 17, p. 88, und namentlich Laskovsky: B. 18, p. 405.

***) Dass nicht das Licht an sich die Rolle spielt, sondern der Produktionsprozess, dafür sind Beweise beigebracht durch C. O. Müller: Landw. Versuchsst., 33, p. 330.

†) Eine sehr interessante Arbeit desselben in Botan. Zeitung, 1878, p. 801.

Asparaginbildung ist auch die Wärme in hohem Grade von Einwirkung, so dass bei hoher Keimtemperatur trotz aller Beleuchtung dieselbe Menge von Asparagin gefunden werden kann wie bei niedriger Temperatur im Dunkeln*). Sauerstoff scheint dagegen für derartige Spaltungsprozesse nicht nötig zu sein**), so dass der erste Impuls zum Zerfall der sogenannte intramolekulare Atmungsprozess zu sein scheint.

Später hat man unter ganz ähnlichen Verhältnissen auch noch das *Leucin* und *Tyrosin* angetroffen, welche also voraussichtlich sich unter Umständen ebenso verhalten. Amidartige Stoffe sind überhaupt häufiger in der Pflanze, als man bis dahin geahnt hatte***), und man kann als das Resultat einschlagender Untersuchungen aussprechen, dass alle Pflanzen im vegetierenden Zustande reich an solchen Verbindungen sind.

Es giebt ausserdem — und darauf ist schon gelegentlich hingedeutet worden — einige stickstoffhaltigen Bitter- und Farbstoffe, die hie und da in den Vegetabilien angetroffen werden. Zum Teil haben sich dieselben als Glycoside entpuppt, und diese unterscheiden sich dann einfach von den stickstofffreien Glycosiden dadurch, dass das Spaltungsprodukt, welches neben Zucker aus ihnen entsteht, ein stickstoffhaltiger Körper ist; für andere ist einige Aussicht vorhanden, dass sie sich später als solche Glycoside ausweisen werden. Denjenigen dieser Körper, welche Zucker abzuspalten vermögen, also wirkliche Glycoside sind, kommt offenbar, wie wir erwähnt haben, eine den stickstofflosen Reservestoffen ähnliche Rolle zu. Eine solche Funktion hat wenigstens für das Amygdalin mit Wahrscheinlichkeit festgestellt werden können, indem das langsame Verschwinden dieses Stoffes in vegetierenden jungen Trieben nachgewiesen wurde†).

Einige Worte mehr erheischt eine weitere Gruppe von stickstoffhaltigen Körpern, die in manchen Pflanzen in grösserer Menge erzeugt werden und ihrer hervorragenden Eigenschaften wegen viele Aufmerksamkeit erregt haben: ich meine die *Pflanzen-Alkaloïde.* Es sind dies stickstoffhaltige organische Stoffe, sauerstofffrei, oder von grosser Sauerstoffarmut und ziemlich verschiedener Zusammensetzung, die, wie ihr Name andeutet, stark basische Eigenschaften besitzen.

Solche stickstoffhaltigen Körper von basischen Eigenschaften finden sich indessen nur in einer beschränkten Anzahl von Pflanzen; die meisten Pflanzen scheinen während ihres ganzen Lebens völlig frei von in diese Klasse gehörigen Verbindungen zu sein; und aus diesem Sachverhalt geht schon hervor, dass die Alkaloïde keine

*) Laskovsky: A. a. O.

**) Clausen: Landw. Jahrb., 19, p. 893.

***) E. Schulze und Urich: Landw. Versuchsst., B. 18, p. 296; dieselben: Landw. Jahrb., 1876, p. 821, und spätere Publikationen ebendaselbst. Nach den Arbeiten der genannten beiden Forschern spielt in den Rüben neben Asparagin und Betaïn $\begin{matrix} COOH \\ | \\ CH_2 \end{matrix} \text{-N} \begin{matrix} (CH_3)_3 \\ OH \end{matrix}$ auch das noch einigermaassen hypothetische höhere Analogon des ersteren, das *Glutamin,* eine Rolle. Später wurde noch der sehr stickstoffreiche Stoff, das *Arginin* $C_6H_{14}N_4O_2$, und auch Alantoïn vorgefunden Vergl. die zusammenfassende Darstellung: Landw. Jahrb., 1892, p. 105. Dieser Aufsatz ist überhaupt von grosser Bedeutung für die Theorie des ganzen Gegenstandes.

†) Untersuchungen von Wicke (vergl. Rochleder: Phytochemie, 1854, p. 321).

wichtigen und allgemeineren physiologischen Funktionen zu vollziehen haben, und dass ihr Auftreten auch nicht mit solchen in Beziehung steht. Für die Alkaloïde erhellt auch die verhältnismässige Unwichtigkeit ihrer Anwesenheit für den Pflanzenorganismus, in welchem sie Entstehung nehmen, vielleicht am besten daraus, dass tropische im normalen Zustande Alkaloïde erzeugende Gewächse, wie z. B. die Cinchona-Arten, in unsern lichtschwachen Gewächshäusern fast ganz aufhören, Chinin etc. zu produzieren*), ohne dass hierunter andere Funktionen der Pflanze sehr wesentlich leiden. Ganz sicher festgestellt scheint der analoge Sachverhalt auch für den Schierling, der bei uns Coniin erzeugt, in Schottland dagegen wenig oder nicht, dort aber auch ohne diesen Stoff ganz freudig gedeiht**). Ein ähnliches Verhalten wäre für die Proteïnstoffe ja ganz undenkbar. Es sind besonders einige Arten der Familien***) der *Euphorbiaceen, Ranunculaceen*, *Solaneen, Papaveraceen*, *Colchiceen* und *Cinchoneen*, welche diese Substanzen in sich erzeugen. Die meisten Pflanzenfamilien †), so die sehr verbreiteten Familien der *Labiaten* und *Compositen*, scheinen ganz frei von Alkaloïden zu sein. Ziemlich reich an Alkaloïd ist der Samen einer kultivierten Leguminose, der Lupine ††).

Die *Pflanzenalkaloïde* sind teils, wie das *Nicotin*, unzersetzt flüchtig und werden dann aus den zerkleinerten Pflanzenteilen durch Ausziehen mit angesäuertem Wasser und Destillation dieses Extrakts über Kali gewonnen, oder diese Stoffe sind wie *Strychnin* und *Chinin* nicht unzersetzt zu destillieren, und in diesem Falle werden dieselben in der Regel aus dem Extrakte durch ein Alkali gefällt, da die Alkaloïde meistens für sich in Wasser unlöslich sind. Diese nicht flüchtigen Pflanzenbasen sind durchgehends leicht krystallisiert zu erhalten.

Die Pflanzenalkaloïde sind von sehr heftiger Einwirkung auf den tierischen Organismus, ja fast alle heftige Gifte für diesen. Die Alkaloïde haben ferner die Eigenschaft, die Polarisationsebene des Lichts abzulenken. Die Synthese der natürlich vorkommenden Pflanzenbasen ist endlich in vereinzelten Fällen gelungen †††), und so beginnt Licht zu kommen in die Konstitution dieser Stoffe, wodurch sich zeigt,

*) Auch ist der Chiningehalt der Bäume eine individuelle oder Rasseneigenschaft (mündliche Mitteilung von Oberförster Berkhout aus Java).

**) Vergl. Rochleder: Phytochemie, 1854, p. 344; auch Vogel: Sitzungsber. d. Münch. Akad. math.-phys. Klasse, 1885, p. 1.

***) Vergl. A. und T. Husemann: Die Pflanzenstoffe etc., 1870, p. 21.

†) Errera: Acad. Roy. de Belg., 56. année, 3 série, T. 13, No. 3, p. 272, findet Spuren von Alkaloïden in jedem Organismus, lässt sie entstehen durch Abspaltung aus Proteïnstoffen, sie kommen vor im Zellsaft und dienen zur Verteidigung gegen Schädlinge. In der That werden ältere (nicotinreichere) Tabaksblätter von Schneckenfrass verschont.

††) Über das Lupinin vergl. Landw. Versuchsst., 1879, p. 1. Das Vorkommen eines Alkaloïds im Hafer hat durch eine in Wageningen durch Wrampelmeyer angestellte Untersuchung nicht bestätigt werden können (Landw. Versuchsst., 1889, p. 299).

†††) So des Coniins, welches durch die Synthese als Propylpiperidin $\begin{array}{l} CH_2 \cdot CH_2 \cdot NH \\ | \qquad\qquad\quad | \\ CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH \cdot C_3H_7 \end{array}$ erkannt wurde. Vergl. Beilstein: Handb. d. org. Chemie, III, p. 628.

dass ihr Stickstoff teilweise auftritt als ein fester Bestandteil des aus der Konstitution der sogenannten aromatischen Körper wohlbekannten Kohlenstoffrings, dadurch wird deutlich, warum die Alkaloïde einmal geformt nicht weiter in den Stoffwechsel der Pflanze eintreten und der Pflanze zugeführt, recht im Gegensatze zu den amidartigen Körpern, deren Stickstoff nur einmal an Kohlenstoff gebunden ist, nicht als Nahrung dienen können*).

Von den sauerstofffreien Akaloïden will ich nur das bekannte, in dem Tabak enthaltene und diesem teilweise seine narkotischen**) Eigenschaften erteilende Nicotin ($C_{10}H_{14}N_2$) noch einmal besonders anführen. Dieses Alkaloïd ist ein farbloses Öl von höchst giftigen Eigenschaften, das bei 250° C. siedet.

Die sauerstoffhaltigen Alkaloïde sind viel verbreiteter als die ersteren. Ich erwähne das Chinin ($C_{20}H_{24}N_2O_2$), eines der Alkaloïde aus der sogenannten Chinarinde und bekanntes Heilmittel, das Morphin ($C_{17}H_{19}NO_3$), das Hauptalkaloïd des Milchsafts der Samenschalen des weissen Mohns, das Strychnin ($C_{21}H_{22}N_2O_2$) in den Früchten der Strychnos nux vomica, den sogenannten Krähenaugen, beide Arzneimittel und furchtbare Gifte, und schliesslich das Caffeïn ($C_8H_{10}N_4O_2$), das Alkaloïd, an dessen regelmässigen Genuss sich die Menschheit gewöhnt hat, im Kaffee und Thee.

Dies letztere bringt im tierischen Organismus eine gewisse Erregung und beim Menschen eine grössere Befähigung zu manchen, namentlich geistigen Arbeiten hervor. Dass es den Stoffwechsel verlangsame, ist eines der Märchen, das längst widerlegt (Voit), sich dennoch fort- und forterbt und das seine Entstehung dem Bestreben verdankt, jene beliebten Getränke zur Beruhigung des eignen Gewissens von der Liste der *Luxus-Genussmittel*, wozu sie nach jener engherzigen Begrenzung des absolut zum Leben Notwendigen gehören, herabzusetzen.

Ein näheres Eingehen auf das Vorkommen und die Eigenschaften der Alkaloïde würde bei unserer völligen Unwissenheit über deren Entstehung in den Pflanzen und bei der scheinbaren Regellosigkeit ihrer Verteilung über die einzelnen Pflanzenfamilien ebensowenig Nutzen für unsern Zweck haben als die eingehendere Behandlung derjenigen stickstofffreien organischen Stoffe, denen wir keine hervorragende physiologische Funktion zuerkennen konnten. Erwähnen müssen wir nur noch, dass es in einzelnen Fällen, z. B. beim Mohne, gelungen ist, den Alkaloïdgehalt durch Ammoniakdüngung zu steigern, eine Thatsache, die nicht allein Licht auf die Ent-

*) Nach den Untersuchungen von E. Wotzal über die Rolle des Solanins in der Kartoffel und einigen verwandten Pflanzen (Untersuchungen, die mir übrigens nur aus dem Sachsse'schen Referate in Biedermann's Centralbl., 1890, p. 720 bekannt sind) scheint es beinahe, als ob dieses Alkaloïd, obschon es auch in Blüte und Frucht reichlich vertreten ist, in der reifenden Pflanze wieder abnehme und nicht bloss relativ in den Hintergrund trete, also ein Zwischenglied des Stoffwechsels sei. Doch beruht diese Meinung nur auf qualitativen Reaktionen.

**) Die Angabe, dass betäubend wirkender Tabak zuweilen kein Nicotin enthalte (siehe J. Nessler: Der Tabak etc., 1867, Tafel I, ad p. 11), beruht auf der unvollkommenen Bestimmung des Nicotins nach älteren Methoden.

stehung dieser Stoffe wirft, sondern auch von erheblicher praktischer Bedeutung werden kann*).

Der hiermit vollendete kurze Überblick über die stickstoffhaltigen organischen Körper des Pflanzenleibes genügt, um zu zeigen, was wir im Anfang dieser Betrachtung ausgesprochen haben, dass es die sog. Proteïnstoffe beinahe allein sind, die von den stickstoffhaltigen organischen Stoffen in der Pflanze eine tiefgreifende physiologische Bedeutung haben, und dass wir *die Unentbehrlichkeit stickstoffhaltiger assimilierbarer Nahrung für die sich weiter entwickelnde Pflanze* fast lediglich auf *die Unentbehrlichkeit dieser Stoffgruppe zurückzuführen* berechtigt sind. Freilich müssen als stickstoffhaltige organische Stoffe von hervorragender Bedeutung für den Haushalt der Pflanze auch die fermentartigen und die amidartigen Substanzen genannt werden; allein diese beide stehen wenigstens ihrer Entstehung nach zu den eigentlichen Proteïnstoffen in naher Beziehung und sind insofern nach jener Ausdrucksweise schon mitinbegriffen.

Der Inhalt der heutigen Vorlesung lässt sich kurz in folgende Sätze fassen**):

1) Die physiologisch wichtigsten und zugleich ihrem Auftreten nach quantitativ bedeutendsten stickstoffhaltigen organischen Stoffe der Pflanze sind die eiweissartigen Stoffe oder Proteïnstoffe.
2) Dieselben kommen wie die wichtigsten stickstofffreien Substanzen, die Kohlenhydrate, in zwei Formen in der lebenden Pflanze vor, als Reservestoffe und als konstituierende Bestandteile des lebenskräftigen Protoplasmas.
3) Die Proteïnstoffe haben in diesen beiden Formen nahezu einerlei Zusammensetzung, so dass die betreffenden Übergänge bei der Anlegung der Reservestoffbehälter oder beim Knospen und Auskeimen ohne erhebliche Oxydations- und Spaltungserscheinungen vor sich gehen können.

*) Durch Kultivierungs- und Düngungsversuche zu Tabak ist ausgemacht, dass alle Dinge, die Einfluss haben auf die Üppigkeit der Pflanze, auch deren Nicotinreichtum vermehren. Vergl. Landw. Versuchsst., 38, p. 453.

**) Die in früheren Auflagen an dieser Stelle eingeschaltete Betrachtung über die Wanderung stickstoffhaltiger Stoffe durch die Pflanze habe ich in dieser Auflage des problematischen Charakters derselben sowie der Ökonomie des Buches wegen weggelassen. Im Grunde handelt es sich in dieser Betrachtung mehr um Methoden, die einst zum Ziele führen können, als um abgeschlossene Resultate. Ausser den Ringelungsversuchen, welche früher an dieser Stelle erwähnt wurden und wobei einerseits der Charakter des durch den Schnitt ausgeschalteten Gewebes, andererseits der Einfluss auf die spezifische Ernährung von jenseits dem Schnitte gelegenen Geweben festgestellt wurde, möchte der Autor als zweckmässige Forschungsmittel den Untersuchern auf diesem Gebiete das Folgende empfehlen, womit er selber seit Jahren beschäftigt ist, aber vieler Abhaltungen wegen vielleicht nicht zu Ende kommen wird. Wählt man nämlich Pflanzen, welche aus oberirdischen Teilen wieder leicht Wurzeln machen, wie Erdbeere, Phalangium oder Tradescantia, und lässt diese Wurzeln in verhältnismässig sehr trockner Erde sich entwickeln, so dass man Sicherheit hat, dass der Saftstrom sich nicht umkehrt, und verabreicht dem oberen Wurzelsystem volle Nahrung, dem unteren dagegen z. B. keinen Stickstoff, so hat man in der üppigen Entwickelung der unterhalb der Adventivwurzeln gelegenen Organe ein Kriterium dafür, ob stickstoffhaltige Stoffe dem Saftstrom entgegen wandern können.

4) Neben den Proteïnstoffen sind für die Pflanzen noch hauptsächlich deren Abkömmlinge, die Amidokörper, und sodann „lebendige“ Reste des Protoplasmas, die Enzyme, in gewissen Vegetationsstadien von hoher physiologischer Bedeutung. Die erstgenannten sind Spaltungsprodukte und zugleich Baustoffe der Proteïnstoffe.

5) Sonstige stickstoffhaltige organische Stoffe wie die Alkaloïde können von den Pflanzen im allgemeinen entbehrt werden und haben daher jedenfalls keine durchgehende Bedeutung für dieselben. Sie sind wohl Spaltungsprodukte der Proteïnstoffe, aber nicht Baustoffe derselben.

Dritter Abschnitt.

Die unverbrennlichen Bestandteile der Pflanze.

Sechzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. — Die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile für die Pflanze.

Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff sind nicht die einzigen Elementarbestandteile der Organismen, weder der tierischen noch der pflanzlichen. *Es giebt kein organisiertes Wesen* auf unserem Erdenrunde, *in dem nicht noch andere chemische Grundstoffe vertreten wären und für das sich nicht die Unentbehrlichkeit von mehreren dieser Stoffe nachweisen liesse.* Dieser in der vollsten Ausdehnung giltige Satz ist insonderheit auch für die Organismen, mit denen wir es hier zu thun haben, für die chlorophyllgrünen Pflanzen zutreffend, und es gelingt leicht, sich auf experimentellem Wege hiervon zu überzeugen.

Es befindet sich hier über der Flamme ein leerer und vollkommen reiner Platintiegel. Ich werfe diese frische grüne und von allen anhängenden Bodenteilchen vollständig befreite Pflanze in denselben. Wir können beobachten, wie die Pflanze sich bräunt, Dämpfe ausstösst, wie jetzt diese Dämpfe sich entzünden, wie die gebräunte Masse verkohlt und wie nun auch die Kohle völlig verglimmt. Diese Erscheinung kann uns nicht im mindesten befremden. Wir wissen ja, dass die organische Substanz, ob stickstoffhaltig oder stickstofffrei, in der Hitze bei genügender Sauerstoffzufuhr sich oxydiert, verbrennt und dabei zu unsichtbaren Gasen, Kohlensäure und Wasser und einigen stickstoffhaltigen Gasen aufgelöst wird, und dass die Pflanze der Masse nach wesentlich aus Wasser und organischer Substanz besteht, haben wir in den hinter uns liegenden Vorlesungen zur Genüge kennen gelernt.

Aber der Tiegel ist nicht leer, nicht der ganze Inhalt desselben ist in die Luft verflogen. Sehen wir genauer zu, so finden wir ein Skelett von nicht flüchtigen Substanzen, also von Substanzen, die (ausser Kohlensäure) keine wesentlichen Mengen von Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff in sich enthalten können, nur Sauerstoff, gebunden an andere Elemente, auf deren Vorhandensein wir also die Pflanze einer Prüfung unterzogen haben.

Dieser Versuch, den wir im Grunde täglich anstellen, wenn wir ein Stück Holz in den Ofen schieben und dann beobachten, dass nicht die ganze Substanz des Holzes ein Raub der Flammen wird, sondern dass immer ein Teil derselben als nicht zu verflüchtigender Stoff durch den Rost fällt, lässt sich beliebig oft und immer mit demselben Erfolge wiederholen. Es fragt sich, haben diese Bestandteile eine Bedeutung? — Suchen wir hierüber Aufschluss zu erhalten.

Wenn man einen Pflanzensamen auf einem Nährboden sich entwickeln lässt, der nur Wasser, Kohlensäure und salpetersaures Ammoniak an die junge Pflanze abzugeben vermag, also in einem von allen löslichen mineralischen Teilen befreiten Sande, in Quarzpulver oder reinem Kohlenpulver, das mit kohlensäurehaltigem, salpetersaures Ammoniak in geeigneten Mengen enthaltendem Wasser durchtränkt ist, oder auch in einer solchen Lösung selbst, so findet man unter allen Umständen, dass von einem gewissen Zeitpunkte an die Pflanze in ihrer Entwickelung stille steht, keine oder nur krüppelhafte Neubildungen hervorbringt und schliesslich eingeht. Diese durch den Versuch beliebig oft zu erneuernde Thatsache, zusammengehalten mit der andern, ebenso leicht festzustellenden, dass die Ausbildung der Pflanze in völlig normaler Weise von statten geht, wenn man ceteris paribus jener Lösung, in welcher die Pflanzenwurzel sich entwickelt, gewisse mineralische Salze in bestimmten Verhältnissen zusetzt, führt uns natürlich zu dem Schluss, dass der Mangel an jenen Salzen in der Lösung an der unvollkommenen Ausbildung der Pflanze schuld sein müsse. Und wenn wir dann noch die weitere Thatsache berücksichtigen, dass die Aschenbestandteile, welche alle Pflanzen und Pflanzenteile zu jeder Zeit und in jedem Entwickelungsstadium in sich enthalten, ihren Grundstoffen nach grossenteils identisch sind mit den in jenen Lösungen von guter Wirkung vorhandenen, so erscheint der Schluss ganz selbstverständlich, dass das Fehlen jener Salze in der der Pflanzenwurzel zugänglichen Lösung *deshalb* schadenbringend sei, weil dieselben zu ihrer Ausbildung gewisser, noch ausser den Elementen der organischen Substanz regelmässig in ihnen auftretenden Substanzen bedürftig sind, die notwendig von aussen aufgenommen werden müssen.

Wir sehen also, dass speziell für die Pflanzen, mit denen wir es hier zu thun haben, der an die Spitze unserer heutigen Betrachtungen gestellte Satz die unabweisbare Schlussfolgerung ist aus einer Reihe von sicher feststehenden Thatsachen, die durch das Experiment bis in die Unendlichkeit vervielfacht werden können, so dass wir nur wünschen könnten, eine jede andere Lehre unserer modernen Pflanzenphysiologie stände auf einer ebenso festen Grundlage.

Es handelt sich aber nun selbstredend darum, festzustellen, was dies für Substanzen sind, die ausser den schon früher behandelten solche integrierende Bestandteile des Pflanzenorganismus sind; und später werden wir uns dann auch die Frage vorzulegen haben, was diese dem Pflanzenorganismus unentbehrlichen Substanzen für Funktionen in demselben zu vollziehen haben, mit andern Worten, warum sie unentbehrlich sind.

Suchen wir uns klar zu werden über die Methoden, die zur Beantwortung der ersten dieser Fragen: welche Substanzen es sind, die von einer gewissen Pflanze oder einem Pflanzenorgan nicht entbehrt werden können, einzuschlagen sind. Man wird zunächst an die einfache Analyse des betreffenden Organismus denken und so zu erfahren suchen, was ausser Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff in einem solchen an Elementarbestandteilen enthalten ist, und vielleicht die so gefundenen Stoffe als für die Pflanze wesentlich und unentbehrlich ansehen.

Diese Methode würde in der That vollständig für den vorliegenden Zweck ausreichend sein, wenn erwiesen wäre, dass der pflanzliche Organismus, mit dem wir's

zu thun haben, unfähig wäre, entbehrliche, aber zufällig ihm in den Weg kommende Stoffe zu assimilieren und in seinem Gewebe abzulagern, wenn derselbe eine Einrichtung besässe, die ihn in stand setzte, alle für ihn unnütze Substanzen streng von der Aneignung auszuschliessen, wie etwa ein mit sehr vollkommenem Instinkte begabtes Tier nur Futterstoffe, die eine gewisse Nährfähigkeit besitzen, aufnimmt, aber alle Substanzen, die ihm unnütz oder schädlich sind, mit Hartnäckigkeit verwirft.

Wir müssen nun an dieser Stelle schon vorausschicken, wenn wir auch später erst Gelegenheit finden werden, eine nähere Begründung dieses Sachverhalts beizubringen, dass ein solches direktes Wahlvermögen für die Pflanze keineswegs besteht, und daraus geht hervor, dass jenes einfache Mittel, die chemische Analyse, unmöglich genügen kann zur Feststellung des *Bedarfs* der Pflanze an einzelnen Bestandteilen. Immerhin giebt dieselbe einen wertvollen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen, da man auf die Weise neben den unnützen doch *jedenfalls auch die notwendigen Bestandteile* erfährt.

Wir würden also fehl greifen, wollten wir jenen im Tiegel enthaltenen Rest der Pflanze, den wir als ihre Asche bezeichneten, ohne weiteres als ihre anderweitigen unentbehrlichen Bestandteile ansprechen, denn wiederholen wir den vorgenommenen Prozess der Einäscherung mit einer Pflanze der gleichen Art, im gleichen Entwickelungsstadium aber von einem anderen Standort, so bekommen wir zwar unfehlbar wieder einen solchen unverbrennlichen Rest im Tiegel, aber dieser Rest ist im Verhältnis zur Menge der eingeäscherten Pflanzensubstanz vielleicht grösser oder kleiner; das Verhältnis der einzelnen Aschenbestandteile unter sich ist möglicherweise ein ganz anderes, und einzelne Aschenbestandteile sind nur im unverbrennlichen Teil der einen, aber nicht in dem der anderen Pflanze vorhanden. Wir sehen also, dass, obgleich die Verbrennung einer Pflanze immer zu demselben Ziel, zu der Hinterlassung eines Aschenskeletts führt, doch das Resultat dieses Prozesses insofern in den verschiedenen Fällen einander ganz ungleich ist, als diese Asche sich in Hinsicht auf Menge und Zusammensetzung sehr abweichend verhält. Man würde also bei Befolgung dieser Methode der Analyse durch jeden neuen Versuch möglicherweise zu einem neuen, von dem bis dahin erlangten verschiedenen Resultate in Bezug auf den Stoffbedarf gelangen — und hierdurch ist natürlich die Unbrauchbarkeit der Methode hinlänglich deutlich gemacht. Die Pflanze hat an den verschiedenen Orten ihres Wachstums sehr verschiedene Stoffe im Erdreich vorgefunden, und da sie keine vollkommene Auswahl zu treffen vermag, so hat sie in jedem einzelnen Falle eine Reihe von Stoffen in sich aufgenommen, die als völlig zufällig in Bezug auf ihre Teilnahme an der Zusammensetzung des Pflanzenkörpers bezeichnet werden müssen.

Zum Beleg dieser Behauptung will ich schon hier einige ältere Analysen anführen, die auf die Aschenbestandteile von Individuen einer und derselben Pflanzenart Bezug haben, welche aber auf verschiedenem Nährboden gewachsen waren. So wurden*) in der Asche der angegebenen kultivierten oder wildwachsenden Pflanzen

*) Malaguti und Durocher: Ann. d. sc. nat., 1858, T. 9, p. 230.

folgende Mengen von Kalk und von Schwefelsäure gefunden, wenn sie einmal von Kalkboden, einmal von kalkarmem Boden genommen worden waren:

	Kalk.		Schwefelsäure.	
	Kalkboden.	Nichtkalkboden.	Kalkboden.	Thonboden.
Brassica oleracea	28,0 %	13,6 %	3,6 %	4,6 %
Brassica Napus	43,6 „	19,5 „	4,2 „	7,2 „
Trifolium pratense	43,3 „	29,7 „	3,1 „	3,9 „
Trifolium incarnatum	36,2 „	26,7 „	1,7 „	3,1 „
Scabiosa arvensis	28,6 „	17,2 „	2,7 „	3,7 „

Auf den ersten Blick ist zu erkennen, dass der Gehalt an den einzelnen Aschenbestandteilen, je nach den äusseren Umständen, ein ausserordentlich verschiedener ist, und dabei ist zu bemerken, dass solche Pflanzen von so verschiedener Aschenzusammensetzung dennoch eine völlig gleichmässige und normale Ausbildung haben können. Man hat übrigens später bei gleich gutem Gedeihen noch ganz andere Differenzen gefunden. So liegen Angaben*) vor von 9—50 % Kali in der Asche gesunder Kleepflanzen; in der Asche von Haferpflanzen 4—38 % Kalk, 18—54 % Kali und 0—27 % Natron.

Man könnte nun mit Berücksichtigung dieses Sachverhalts daran denken, die Methode dahin zu erweitern, dass man durch Zusammenstellung möglichst vieler einzelnen Aschenanalysen den Fehler der Zufälligkeit zu eliminieren suchte und so doch im stande wäre, haarscharf zu unterscheiden zwischen entbehrlichen und notwendigen Aschenbestandteilen. — Allein dabei ist zu erwägen, dass bei dem *natürlichen* Wachstum der Pflanzen *nicht alle möglichen Ernährungsbedingungen* vertreten sind, sondern nur eine beschränkte Anzahl solcher, die ausserdem als gegeben durch den meist ähnlich zusammengesetzten Erdboden eine erhebliche Übereinstimmung untereinander zur Schau tragen; und wir wissen, dass, wenn die Zufälligkeiten, von denen wir eine Erscheinung frei zu machen bestrebt sind, eine gewisse Gemeinschaftlichkeit an sich tragen, mit andern Worten, in Bezug aufeinander keine Zufälligkeiten sind, wir auch nicht hoffen können, diese störenden Faktoren durch Anhäufung einer grossen Anzahl von Einzelbeobachtungen auszumerzen. Wenn z. B., wie dies thatsächlich der Fall ist, der Erdboden, aus dem die Pflanzen ihre mineralische Nahrung schöpfen, *unter allen Umständen gleichgeartete aufnahmsfähige Substanzen in sich enthält, die für jene Organismen entbehrlich sind*, so werden

Daselbst finden sich auch schon Angaben über den durchschnittlichen Gehalt einiger Pflanzenfamilien an Gesamtaschenbestandteilen, je nachdem die analysierten Exemplare auf Kalkboden oder anderem Boden gewachsen waren:

	Kalkboden.	Nichtkalkboden.
Aschengehalt der Cruciferen	35,8 %	20,1 %
„ „ Leguminosen	40,3 „	28,1 „
„ „ Dispaceen	38,7 „	20,6 „
„ „ Salcineen	68,9 „	51,2 „.

Alle bekannten hierher gehörigen Fälle finden sich zusammengestellt in E. Wolff: Aschenanalysen, 1871, p. 186.

*) Landw. Versuchsst., 1869, p. 140—141.

wir auch bei jeder einzelnen Aschenanalyse Stoffe vorfinden, die völlig entbehrlich für dieselben sind, deren Entbehrlichkeit selbstredend aber nicht durch jene Methode der Variation gefunden werden kann.

Der Weg der Aschenanalyse kann also nicht zu dem gewünschten Ziele führen, und wenn wir erfahren wollen, welche Bestandteile konstituierend für die Pflanzen sind, so bleibt nur der andere Weg übrig, den man auch einschlagen musste, um ein Aschenbedürfnis überhaupt und ähnliche Dinge zu konstatieren: — der Weg *der Erziehung der Pflanze in einem künstlichen Medium, in welchem man ihr die einzelnen Substanzen, deren Unentbehrlichkeit in Zweifel gezogen wird, nach Belieben verabreichen oder vorenthalten kann.*

Auf die *Notwendigkeit dieser Methode* zur Feststellung des Bedarfs der Pflanze an einzelnen Aschenbestandteilen weist auch der geschichtliche Verlauf der Entwickelung unserer Anschauung über die Bedeutung dieser Bestandteile hin. So lange man den letzteren Weg versäumt hatte einzuschlagen, waren die Ansichten über den Wert der Achenbestandteile ausserordentlich unbestimmt.

Überhaupt können wir folgende Perioden hinsichtlich der wissenschaftlichen Meinungen über die Bedeutung der Aschenbestandteile unterscheiden. Wenn wir einige Jahrhunderte zurückgehen, so stossen wir auf jene uns heute so merkwürdig anmutenden Anschauungen, nach welchen die Aschenbestandteile als Verbrennungsprodukte der Organismen, ganz in dem Sinn, wie die Metall-Kalke (-Oxyde) als Verbrennungsprodukte der Metalle aufgefasst wurden*). Man muss sich, um die Möglichkeit eines solchen Vergleiches zu begreifen, vor den Geist rufen, dass die Chemie vor Lavoisier eine rein qualitative Chemie gewesen ist und dass zu einer Zeit, wo man die stofflichen Veränderungen noch nicht mit der Wage kontrollierte, die beiden Erscheinungen der Verbrennung eines organischen Gewebes zu Asche und eines Metalles z. B. von Eisen oder Blei zu einem nicht flüchtigen und nicht weiter veränderlichen Stoffe, allerdings einige Ähnlichkeit miteinander hatten, daher es nicht wunder nehmen darf, dass man gelegentlich auch von „Metallaschen“ sprach. Die charakteristische Gewichtsvermehrung von diesen im Gegensatze zu der Gewichtsverminderung bei jenen war damals der Aufmerksamkeit entzogen.

In einer späteren Periode, deren Ausläufer sich noch mit den heute festgestellten Forschungsresultaten begegnen, ist die Meinung von der Zufälligkeit und Bedeutungslosigkeit der Aschenbestandteile die herrschende. Dass diese Anschauung sich vielfach verflochten mit der uns heute so viel fremdartiger vorkommenden Meinung, dass die Aschenbestandteile *durch den Lebensprozess aus anderen Elementen gebildet würden,* ist anfangs erklärlich aus dem Entwickelungszustand der Chemie im vorigen Jahrhundert und in späterer Zeit aus der geringen Berührung dieser Wissenschaft mit Physiologie und Landwirtschaftwissenschaft.

*) Diese Ansicht wurde selbst noch 1795 ausgesprochen, vergl. die Abhandlung des schottischen Grafen Dundonald bei S. W. Johnson: Wie die Feldfrüchte wachsen; deutsch 1871, p. 5. Es giebt aus dem vorigen Jahrhundert nur ganz vereinzelte Lichtblicke bezüglich der Bedeutung der Aschenbestandteile, wie einzelne Bemerkungen Külbel's (1739) und Rückert's (1789) (vergl. Krutzsch: Bodenkunde 1847), die indessen sehr unbestimmt gehalten waren, eben weil sie auf einer unsicheren Basis der Erkenntnis beruhten.

Als dritte Periode können dann unsere modernen Anschauungen, auf deren Basis auch diese Vorlesungen stehen, angeführt werden. In denselben bildet die Bedeutung der Aschenbestandteile einen integrierenden Bestandteil der Pflanzenernährungslehre überhaupt. Diese letztere Erkenntnis beruht zum grössten Teile auf der Anwendung der Methode, auf welche wir soeben hingewiesen haben, und mit deren Ausführung wir uns heute noch weiter zu beschäftigen haben. Umgekehrt muss man eingestehen, dass in einer früheren Periode im Grunde nichts natürlicher war als die Meinung von der Zufälligkeit der Aschenbestandteile. Man wusste, dass im Boden ganz ähnliche Bestandteile vorhanden waren, wie sie jener unverbrennliche Rest nachwies; man kannte das Verhältnis, in dem die Pflanze vermittelst der Wurzel zum Boden stand, dass sie durch diese Wasser aus demselben sauge; es musste als selbstverständlich erscheinen, dass mit dem Wasser auch die Unreinigkeiten desselben in die Organe der Pflanze übergingen und sich dort ansammelten, genau wie wir in einem Wassertopf, in dem regelmässig Brunnenwasser gekocht und teilweise verdampft wird, nach und nach einen Rest, den sogenannten Kesselstein, sich absetzen sehen*). Dabei war die, zumal nach Anwendung der Gewichtsanalyse in die Augen springende Geringfügigkeit des in den meisten Fällen nach der Verbrennung von Pflanzen verbleibenden Aschenreste dazu angethan, die eben ausgesprochene Meinung zu befestigen.

Diese Anschauung über die Bedeutungslosigkeit der Aschenbestandteile war im Anfang dieses Jahrhunderts die herrschende**); wenn indessen die Berliner Akademie der Wissenschaften noch im Jahre 1800 die Preisfrage stellte:

> „Von welcher Art sind die erdigen Bestandteile, welche man mit Hilfe der „chemischen Zergliederung in den verschiedenen inländischen Getreidearten „findet? Treten diese in solche so ein, wie man sie findet, oder werden sie „durch die Wirkung der Organe der Vegetation erzeugt?“

und auf diese Frage die Antwort erhielt, dass die Pflanzen die in ihnen enthaltenen Aschenbestandteile durch den Lebensprozess***) erzeugten, so ist dies nur erklärlich aus der eben schon erwähnten geringen Beeinflussung agronomischer Theorien durch die damals schon so fest fundierte chemische Wissenschaft; denn es widersprach ja diese Lösung den schon damals gegründeten Vorstellungen von der Unverwandelbarkeit der Elementarstoffe ineinander, von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der

*) Vergl. z. B. Chaptal: Agrikulturchemie, deutsch von Eisenbach, 1824, I, p. 153.

**) So sieht z. B. einer der bekanntesten landwirtschaftlichen Schriftsteller dieser Zeit, Hlubek, die Aschenbestandteile als nebensächliche Bestandteile der Pflanze an. Vergl. dessen „Landwirtschaftslehre“, B. I, p. 122; dessen „Ernährung der Pflanzen und die Statik des Landbaus“, 1841, p. 68, wo er geradezu sagt: „Die anorganischen Körper sind zufällige Gemengteile der organischen Gebilde“. — Auch Thaer und mit ihm die ganze herrschende Schule der Landwirtschaft sind ähnlicher Ansicht gewesen, während Hermstätt im Jahre 1817 (Grundsätze etc., p. 278) sogar noch vollständig der Schrader'schen Ansicht huldigt.

***) Selbst de Saussure scheint noch im Jahre 1802 an die Möglichkeit der Erzeugung der Aschenbestandteile in den Pflanzen gedacht zu haben. Vergl. Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre, I, p. 136.

Materie. Es muss daher diese Beantwortung*) als unzeitgemäss betrachtet werden. Überhaupt kann das tiefe Dunkel, in welches im Anfange dieses Jahrhunderts die ganze Pflanzenernährungslehre gehüllt schien, nur durch den verwüstenden Einfluss der sogenannten Naturphilosophie zumal in Deutschland auf die physiologischen Wissenschaften erklärt werden. Dass man dagegen noch im vorigen Jahrhundert und früher und namentlich bis zu der Zeit, wo man die Elementarzusammensetzung des Wassers und der anderen Stoffe, die vorzugsweise an dem Aufbau des Pflanzenorganismus Anteil nehmen, noch nicht kannte, ganz allgemein der Ansicht huldigte, dass bei der Vegetation wie bei vielen künstlichen Prozessen Wasser in erdige Stoffe verwandelt werde, kann natürlich nicht wunder nehmen**).

Was dann das Entstehen der modernen Lehre angeht, so sind zunächst einige Vorläufer zu erwähnen. Der *erste,* welcher den richtigen Sachverhalt, gestützt auf eine grosse Reihe von (wenn auch noch sehr mangelhaften) Untersuchungen und entgegengesetzt seiner eigenen früheren Überzeugung, ausgesprochen hat, war de Saussure im Jahre 1804, jener grosse Pflanzenphysiologe, dem wir in so mancher Hinsicht epochemachende Entdeckungen verdanken. Sicherlich aber hat dieser die von ihm namentlich für einige Aschenbestandteile (Phosphorsäure, Kali, Kalk) gewonnene Überzeugung nicht mit genügender Bestimmtheit, und auch ohne die bedeutenden praktischen Folgen seiner Entdeckung für die Düngungsmethoden zu erkennen, in seinen Veröffentlichungen***) vertreten, und so hat die vereinzelt bleibende

*) Es geht übrigens aus derselben hervor, welche wichtige Rolle der Lebenskraft zu jener Zeit noch zugeteilt wurde und wie gering noch der Zusammenhang der wissenschaftlichen Chemie mit den physiologischen Disziplinen gewesen ist. Offenbar sollte nach Schrader's Auffassung dieselbe im stande sein, jenes Gesetz der Unverwandelbarkeit der Elementarstoffe ineinander für die organische Natur umzustossen. Freilich muss man bedenken, dass die erdigen Aschenbestandteile damals grösstenteils noch nicht zerlegt waren, man sie also noch eher untereinander chemisch verwandt erachten konnte. Ja, man schloss aus ihrer vermeintlichen Verwandelbarkeit ineinander, wie man sie durch die Vegetation dargethan glaubte, auf ihre genetischen Beziehungen. (Thaer: Grundsätze etc., II, 1810, p. 49.) Vergl. auch die interessante Anmerkung Thaer's zu Davy's Agrikulturchemie, deutsch, 1814, p. 362.

**) Van Helmont glaubte in der Mitte des 17. Jahrhunderts diese Umwandlung bei dem Wachsen eines Weidenzweigs bewiesen zu haben, und ihm folgten in dieser Auffassung sein Zeitgenosse Boyle und später im 18. Jahrhundert Eller, Bonnet, Duhamel, Wallerius und viele andere. Vergl. Kopp: Geschichte der Chemie, III, p. 259. Nur speziell für das Alkali der Asche ist man teilweise schon früher anderer Ansicht gewesen, so Wiegleb, ebenda, III, p. 49.

***) Vergl. hierüber Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc., 1862, Einl. p. 19. — Auch Humphrey Davy hat in seinen „Elementen der Agrikulturchemie" schon ziemlich deutlich die Ansicht der Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile für die Pflanzen ausgesprochen, wenn auch nicht scharf genug betont. Vergl. p. 19 der deutschen Übersetzung jenes Werkes, vom Jahre 1814, wo es heisst:

„Die chemische Wirkung der einfacheren Düngerarten, der Düngerarten, welche in „kleinen Quantitäten wirken, wie der Gips, die Alkalien und mehrere salinische Substanzen, „war bis jetzt noch in tiefes Dunkel gehüllt. Die gewöhnlichere Meinung ist die, dass „diese Substanzen auf die vegetabilische Ökonomie auf eben die Art wie Gewürze oder „Reizmittel auf die tierische Ökonomie wirken, und dass sie die gewöhnliche Speise der „Pflanze nährender machen. — Die Meinung scheint jedoch der Natur der Sache ungleich

flüchtige Bemerkung eines seiner Zeit vorangeeilten bedeutenden Kopfes keinen Erfolg für die Wissenschaft gehabt und ist ohne jeden Einfluss auf die Entwickelung der praktischen Landwirtschaft geblieben. Doch verdient der Ausspruch Saussure's: „Die auflöslichen Bestandteile der Dammerde tragen in gewissem Grade zu deren Fruchtbarkeit bei; die Aschenbestandteile jener enthalten alle Elemente der Pflanzenaschen", unsere Beachtung*).

Mit grösserer Bestimmtheit wurden dann dieselben Anschauungen über die Bedeutung der Aschenbestandteile für eine Anzahl derselben in der „Bodenkunde" von Sprengel, die im Jahre 1837 erschien, hervorgehoben. In derselben wird bereits die Unfruchtbarkeit einer Menge von Böden, die gleichzeitig der Analyse unterworfen worden waren**), auf ihren Mangel an gewissen Aschenbestandteilen zurückgeführt, woraus also deutlich die Ansicht erhellt, dass diese Bestandteile teilweise unentbehrlich sein müssten. Noch deutlicher drückte sich Sprengel zwei Jahre später (1839) in seiner „Lehre vom Dünger"***) über seine Ansicht von der Ernährung

„angemessener zu sein, dass sie wirklich einen Teil der Pflanzennahrung ausmachen, und „dass sie für die Pflanzenfaser diejenige Art von Stoff hergeben, welcher im „tierischen Körper der Substanz der Knochen analog ist";

und auf der folgenden Seite:

„Die Theorie von der Wirkung alkalischer Substanzen ist einer derjenigen Teile der „Agrikulturchemie, welcher am einfachsten und klarsten ist. Sie werden in allen „Pflanzen angetroffen, man kann sie demnach zu den wesentlichsten Be-„standteilen derselben rechnen. Ihre Geneigtheit, chemische Verbindungen ein-„zugehen, macht sie geschickt, mehrere Bestandteile, welche tauglich sind, zur Nahrung „der Pflanzen zu dienen, in den Saft derselben einzuführen."

Im letzteren Satze ist, wie man sieht, schon der Versuch einer Theorie des Nutzens jener alkalischen Aschenbestandteile für die Pflanze enthalten. — Vergl. auch Journal für Landw., 1861, p. 159.

Auch Darwin's Vater soll schon 1800 Böden nach dem Gehalte an Phosphor bonitiert haben. Vergl. Thoms: Tageblatt d. Naturforscherversammlung, 1886, 29. Sektion, 21. Sept.

*) Recherches sur la végétation, p. 185. Ferner der Versuch, p. 304 a. a. O., der schon als ein Vorläufer des später von Wiegmann und Polstorff durchgeführten entscheidenden gelten kann.

**) Vergl. p. 471—575 des angeführten Werkes.

***) Wer mit der landläufigen Meinung, dass unsere ganze neue Anschauung der Pflanzenernährung von Liebig herrühre, dieses zwar wenig geistvolle, aber doch in seiner Art vortreffliche Werk, das heute noch weit weniger veraltet ist als die „organische Chemie etc." von 1840, zum erstenmal in die Hand bekommt, der wird aufs äusserste erstaunt sein über die darin niedergelegten richtigen Anschauungen über Pflanzenernährung. Ich beschränke mich darauf, folgende Sätze aus demselben mitzuteilen.

„Mit Gewissheit können wir dagegen annehmen, dass sie (die mineralischen Körper) „allen Gewächsen auch zur wirklichen Nahrung dienen und zu ihrer chemischen Kon-„stitution ebenso wesentlich erforderlich sind als der Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff „und Stickstoff der organischen Düngermaterialien. Der unrichtigen Ansicht über die „Wirkungsart der Mineralien opfert man in der That schon seit langer Zeit bedeutende „Vorteile, denn unleugbar würde man die Pflanzenkultur mit einem viel grösseren Erfolge „betreiben, wenn man dabei von dem Grundsatze ausginge, die Pflanzen müssten alle und „jede Mineralien, die wir in ihnen finden, auch in hinreichender Menge im Boden an-„treffen." (p. 284); und: „Wir sehen immer, dass diejenigen Aschen am besten düngen,

der Pflanzen aus. In diesem Werke spricht er über die unentbehrlichen Nahrungsmittel der Kulturgewächse und erachtet — freilich nur gestützt auf Aschenanalysen — Eisen, Mangan, Magnesia, Kali, Natron, Chlor, Phosphorsäure, Schwefelsäure, ausserdem von flüchtigen Verbindungen die stickstoffhaltigen Körper als notwendige Bestandteile eines fruchtbaren Bodens*), neben den schon bis dahin als notwendig angesehenen Bodenbestandteilen: Thon, Kalkerde und Humus.

Aber auch dieser Ausspruch, obschon er einen grossen Gegensatz bildete zu den damals noch in der Landwirtschaftslehre geltenden Anschauungen, scheint verhältnismässig wenig Beachtung gefunden zu haben, und so war es Liebig vorbehalten, der eigentliche Gründer der neuen Ernährungslehre der sog. Mineraltheorie zu werden, die in der Folge einen so bedeutenden Einfluss auf die Theorie des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus überhaupt ausüben sollte. Es mag diese Thatsache einem jeden auffallen, der durch ein aufmerksames vergleichendes Studium der von Liebig in seinem berühmten Werke vom Jahre 1840 aufgestellten Thesen und der schon *vor ihm* verteidigten Sätze über Pflanzenernährung konstatiert, dass sich die ersteren eigentlich nur in Nebendingen von diesen letzteren unterscheiden, dass sogar einige der Liebig'schen Zuthaten**) sehr problematischer Natur gewesen sind und später fallen gelassen werden mussten. Dieselbe muss um so mehr befremden, wenn man erfährt, dass die Liebig'schen Behauptungen auf ganz derselben Basis der Erkenntnis***) beruhen, wie die identischen von Sprengel aufgestellten, dass von ihm

„welche reich an Gips, phosphorsaurer Kalkerde, Kochsalz und schwefelsaurem Kali sind; „folglich können wir uns auch überzeugt halten, dass, da die Salze nicht auf den Humus „des Bodens wirken, die Pflanzen durch selbige einzig und allein ernährt werden.“ (p. 356.) „Schon oft hat man gesehen, dass ein Düngesalz, welches in der einen Gegend das üppigste „Pflanzenwachstum hervorbrachte, in der andern sich völlig indifferent verhielt; dies lässt „sich nur dadurch erklären, dass der Boden schon alle die Stoffe, woraus das Salz bestand, „in hinreichender Menge enthielt u. s. w.“ (p. 408.)

Vergl. ferner p. 315, wo von der Aschendüngung, p. 388, wo von den düngenden Eigenschaften des schwefelsauren Kali die Rede ist. Kurz, in dem Buche ist die ganze wesentliche Ernährungslehre der späteren Agrikulturchemie fast vollständig enthalten. Vergl. ferner: Die Lehre von den Urbarmachungen etc. von demselben Verfasser, Leipzig 1838. In diesem Werke sind besonders Stellen auf p. 112, 209, 291, 344, 408 in der in Rede stehenden Beziehung von Wichtigkeit. Gegenüber den in dem Liebig'schen Buche niedergelegten Anschauungen ist nur auf den einen wesentlichen Unterschied aufmerksam zu machen, dass Sprengel die düngende Wirkung teilweise durch die Aufnahme humoser organischer Stoffe durch die Pflanze erklärt. In dieser Frage hat Liebig den entscheidendsten Fortschritt angebahnt (vergl. p. 37 dieser Vorlesungen). — Von Interesse ist auch Lampadius: Die Lehre von den mineralischen Düngemitteln, 1833, worin die Sprengel'schen, schon früher geäusserten Ansichten adoptiert werden. Vergl. auch die Ansichten von Schübler (dessen: Grundsätze der Agrikulturchemie), welche den Sprengel'schen nahekamen.

*) Vergl. a. a. O. p. 575.

**) Ich erinnere nur an die Theorie der Bedeutung der organischen Basen (die organ. Chem. i. i. Anw. etc., 1840, p. 92), an die Meinung von der Vertretbarkeit der anorganischen Basen untereinander (p. 87—90).

***) Liebig argumentiert noch (p. 95 seines Buches): „Diese Thatsachen ihrem wahren „Wert nach anerkannt, müssten die alkalischen Basen, die wir in den Aschen finden, zum „Bestehen der Pflanzen unentbehrlich sein; denn wären sie es nicht, so wären sie nicht da“;

ebensowenig eine experimentelle Beweisführung unternommen worden war wie von diesem. Beide kannten den Gehalt einer Reihe von Gewächsen an Aschenbestandteilen, die im grossen und ganzen dieselben waren; beide schlossen bei dieser Übereinstimmung der Resultate der Aschenanalysen, dass diese Bestandteile nichts Zufälliges sein konnten; beide wussten ferner durch eine glückliche Kombination gewisse Erscheinungen in der landwirtschaftlichen Praxis, als da sind die Unfruchtbarkeit mancher Ländereien, die auffällige Wirkung mancher Düngemittel, in Beziehung zu jener Erkenntnis zu bringen, und so kamen beide zu wesentlich der gleichen Theorie der Pflanzenernährung, und Sprengel gebührt in Bezug auf diese ohne alle Widerrede die Priorität.

Allein, wenn man näher zusieht, geben sich doch bedeutende Unterschiede zu erkennen, welche die Wirksamkeit des Liebig'schen Auftretens erklären und die Leistung dieses genialen Forschers in das rechte Licht setzen. Es ist das unanfechtbare Verdienst von Liebig, auch wenn von den richtigen Sätzen, die er in seinem Buch von 1840 ausgesprochen hat, keiner sein geistiges Eigentum genannt werden dürfte, dass die Wichtigkeit derselben klarer vor seiner Seele stand als vor der irgend eines Mitlebenden, dass er erst den Zusammenhang alles von ihm zu Tage Geförderten recht begriff, dass er einsah, wie es allein durch die Zerlegung der *komplexen Begriffe: Boden, Dünger, Fruchtbarkeit in einzelne naturwissenschaftlich definierbare Faktoren* gelingen könne, eine Theorie der Pflanzenernährung aufzubauen, deren Erfolge — hatte sie sich einmal ein Recht gesichert, in der Praxis mitzureden — ganz unabsehbare sein mussten. Diese Einsicht, die ihn ohne Zweifel über diejenigen Zeitgenossen, die zur selben naturwissenschaftlichen Erkenntnis gelangt waren, und zu einem wirklichen Reformator der physiologischen Wissenschaften erhebt, hatte ihn befähigt, jene schöne eindringliche Sprache zu reden, die seinem Buche einen so grossen Leserkreis verschafft hat. Dazu kam der bedeutende, durch grossartige Leistungen auf dem Gebiete der reinen Chemie erworbene Ruf Liebig's, der sein Buch auch in den wissenschaftlichen Kreisen zu einem der gelesensten machte und den darin ausgesprochenen Theorien eine grosse Verbreitung sicherte.

Nur so ist es erklärlich, dass man Liebig, obgleich die *wesentlichsten* und *bleibenden Ansichten*, welche er im Jahre 1840 aussprach, schon vorher aufgestellt worden waren, obgleich diese Ansichten in keinem Stücke besser begründet waren als die seiner Vorgänger, doch als den Schöpfer einer neuen Theorie ansieht und von dem Jahre des Erscheinens seines Buches eine neue Epoche der Lehre von der Pflanzenernährung datiert*).

Der eigentliche Beweis aber, dass dem wirklich so sei, wie in einzelnen Stücken de Saussure und Davy, wie später deutlicher Sprengel und Liebig behauptet

denn obgleich er die mögliche Zufälligkeit der Aufnahme von Stoffen gerade vorher zugesteht, so glaubt er doch, dass dieselben, wenn unnötig, sogleich wieder abgeschieden würden.

*) Übrigens darf man nicht glauben, dass nun mit einem Schlage die Mineraltheorie eine unumschränkte Geltung gehabt hätte. So im Fluge siegt auch nicht der genialste Forscher. Wie aus der Drechsler'schen Geschichte der landwirtschaftlichen Statik erhellt, errang Liebig einen ganz vollständigen Sieg erst 22 Jahre später mit dem Erscheinen der siebenten Auflage seines berühmten Buches.

hatten, wurde merkwürdigerweise erst nachträglich geliefert, wenn auch beinahe um dieselbe Zeit, als diese letzteren ihre neue Theorie der Pflanzenernährung aufstellten. Dadurch wurde offenbar erst dem Liebig'schen Auftreten jene solide Grundlage gegeben, die ein nochmaliges Rückfallen in die vorhin besprochenen Irrtümer verhinderte und ein weiteres Fortschreiten ermöglichte, und somit bleibt der Methode, welche wir sich nun entwickeln sehen werden, doch ihr grosser Anteil an den merkwürdigen Erfolgen gesichert. Die Universität Göttingen hatte die unsichere Basis erkannt, auf welcher die verschiedenen Ansichten über die Ernährung der Pflanzen, die so schroff einander gegenüberstanden, ruhten, und sich veranlasst gesehen, die Preisfrage zu stellen: *„ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben nicht dargeboten werden, und ob jene Elemente so wesentliche Bestandteile des vegetabilischen Organismus seien, dass dieser sie zu seiner völligen Ausbildung bedürfe?"*

Man sieht auch aus dieser Fragestellung, wie noch spät in unser Jahrhundert hinein der Gedanke an eine Umwandlung der chemischen Grundstoffe durch die eigentümlichen Kräfte des Organismus, wenn auch in der Form einer schüchternen Fragestellung, immer wieder auftauchte, da man ihn schon lange als völlig unverträglich mit den sonst in der Chemie geltenden Anschauungen halten sollte. — Allein diesmal fiel die Beantwortung nicht mehr in demselben Sinne aus wie 40 Jahre früher. Der Preis wurde im Jahre 1842 Wiegmann und Polstorff zuerkannt, die, gestützt auf eine vollständige experimentelle Beweisführung, die gestellte Frage dahin beantworteten *), *dass das Wachstum der Pflanzen sehr behindert und fast ganz unterdrückt werde, sobald nicht eine gewisse Menge unorganischer Bestandteile in auflöslichem Zustande im Boden zugegen sei.* In dieser Beantwortung ist einmal der Satz von der *Unentbehrlichkeit* gewisser Aschenbestandteile, zugleich aber auch nebenbei der von der *Unerschaffbarkeit* dieser Bestandteile durch den Vegetationsprozess eingeschlossen enthalten.

Die Beweisführung dieser von Wiegmann und Polstorff aufgestellten Sätze war wie gesagt zum Unterschiede von Sprengel und Liebig eine durchweg experimentelle. Dieselben begnügten sich ferner nicht mit der Anstellung von Aschenanalysen, sondern wählten die Methode, welche nach den oben gemachten Ausführungen die allein endgültig entscheidende sein konnte, — die Methode, die im Gegensatz zu jener andern bezeichnend die *synthetische* genannt worden ist; sie zogen eine ganze Reihe von Pflanzen (Vicia sativa, Hordeum vulgare, Avena sativa, Polygonum fagopyrum, Nicotiana tabacum und Trifolium pratense), also unsere bekanntesten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen von dem Samen an in einem Boden, der seinen festen Teilen nach aus weissem, vorher mit Königswasser behandeltem Sande bestand, aber in dem einen Fall bloss mit reinem

*) Wiegmann und Polstorff: Über die anorganischen Bestandteile der Pflanzen etc., Braunschweig 1842. Freilich hatten auch diese Forscher (auch in Bezug auf diese Beweisführung) ihre Vorläufer, unter welchen Giobert, Hassenfratz, später John und vor allen wieder de Saussure zu nennen sind. Vergl. dessen Recherches s. l. végétation, p. 245 und 304.

destilliertem Wasser begossen, im anderen Falle ausserdem mit einer Reihe von grossenteils mineralischen Stoffen, wie sie sich in der natürlichen Ackererde sowohl, als auch teilweise in der Pflanze vorfinden, versetzt wurde. In diesen verschiedenen Nährböden liess man die Pflanzen wachsen und unterwarf sie nach Vollendung einer Vegetationsperiode der Aschenanalyse.

In dem reinen Sande gediehen die Pflanzen nur sehr kümmerlich und zeigten bei der Analyse eine grosse Armut an Aschenbestandteilen, während sie in dem gemischten Boden freudig gediehen. Die ersteren enthielten indessen doch eine grössere Menge von Aschenbestandteilen, als in den ausgelegten Samen vorhanden war, und so konnte der gesuchte Beweis noch nicht als geführt angesehen werden. Es gelang aber bald, in dem Sande, der noch nicht vollständig gereinigt war, die Quelle jenes Überschusses zu entdecken und durch eine Vegetation von Kresse in sehr fein geschnittenem Platindraht, der sich in einem Platingefäss befand und mit destilliertem Wasser begossen wurde, zu zeigen, dass, wenn man jede Möglichkeit der Assimilation von Aschenbestandteilen von aussen abschnitt, es nicht gelang, mehr Asche in den entwickelten Pflänzchen nachzuweisen, als der ausgelegte Samen enthielt.

Nimmt man diese beiden Versuche zusammen, so können sie mit vollem Rechte als experimentelle Beweisführung der vorangestellten Behauptungen dienen.

So war also der schon vorher auf einem andern Wege gefolgerte Satz zum erstenmal streng bewiesen*) und von nun an ein unveräusserlicher Bestandteil der Wissenschaft; — er war es aber erst in einer sehr allgemeinen und unbestimmten Form. Man wusste nun allerdings, dass die Aschenbestandteile der Pflanzen nicht samt und sonders zufällig in diese Organismen gerieten, dass ihnen vielmehr gewisse notwendige physiologische Funktionen zukämen. — Aber was war mit dieser Erkenntnis anzufangen? — Einige unsichere praktische Folgerungen konnten aus derselben vielleicht gezogen werden; — theoretisch war sie in dieser Form noch ohne spezifisches Interesse.

Es handelte sich offenbar darum, den Kollektivbegriff „Aschenbestandteile" weiter zu zerlegen, zu fragen, *welche Stoffe es seien,* um derentwillen die Pflanze jener nicht entraten konnte. Die Methode, die zu diesem Zwecke gewählt werden *musste,* lag nach dem früher Gesagten auf der Hand.

Sobald man einmal den Weg erkannt hatte — und er war durch die Wiegmann-Polstorff'sche Arbeit angedeutet —, der allein zu einer Beantwortung der gestellten Frage eingeschlagen werden konnte, sobald man einmal eingesehen hatte, dass es nötig war, die auf ihr Bedürfnis an einzelnen Aschenbestandteilen zu prüfende Pflanze mit Zufuhr und mit Ausschluss der betreffenden Stoffe wachsen zu lassen, um so den Effekt dieses Ausschlusses beurteilen zu können, wurde die Bearbeitung der Frage von vielen Seiten in die Hand genommen. Man suchte nun zuerst Methoden auf, um Pflanzen in einem leicht zu kontrollierenden Nährstoffgemisch

*) Dieses Beispiel zeigt auch sehr deutlich die Beweiskraft der „Differenzmethode" gegenüber der früher schon auf denselben Gegenstand verwandten „Methode der Übereinstimmung", auf welcher teilweise die Liebig'sche und Sprengel'sche Erkenntnis beruhte. Wir haben hierin ein interessantes Beispiel für die verschiedenartigen Verfahrungsarten der induktiven Logik in Bezug auf ein und dasselbe Forschungsobjekt.

zur normalen Entwickelung zu bringen; und die Ausbildung dieser Methoden hat eine erhebliche Zeit in Anspruch genommen. Es musste erst gelingen, die Pflanze in einem chemisch völlig bekannten Boden zur Vollendung ihrer Vegetationserscheinungen zu bringen, um dann durch Weglassen eines oder des andern Bestandteils dessen Bedeutung zu erfahren.

Es haben sich im Verlauf der auf Liebig folgenden Jahrzehnte im wesentlichen zwei Methoden ausgebildet, welche diesem Zweck genügten. Beide geben davon aus, der Pflanzenwurzel ihre Nahrung in Form einer wässrigen Lösung zu reichen. Eine dritte Methode*), die davon ausginge, die Pflanze in einem der natürlichen Ackererde ähnlichen Gemisch und mit abwechselnder Hinweglassung der einen oder der andern den Boden konstituierenden chemischen Bestandteile zu ziehen, ist zur Lösung der Frage nach der Bedeutung der Aschenbestandteile niemals in Anspruch genommen worden. Eine solche ist auch, obgleich sie ohne allen Zweifel in den meisten Fällen weit rascher befriedigende Antworten geliefert haben würde, gerade für die Aschenbestandteile mit Schwierigkeiten verknüpft, welche in der Reindarstellung der Bestandteile dieser Gemische liegen. Nur für die Frage nach der Entbehrlichkeit der organischen Bestandteile und der Stickstoffverbindungen ist ein ähnlicher Weg mit vielem Erfolge benutzt worden, weil in diesen Fällen die Erde durch einfaches Glühen in der gewünschten Weise abgeändert werden konnte.

Bei den Methoden, die thatsächlich zur Bearbeitung der uns beschäftigenden Frage angewendet worden sind, trat nun jene andere Schwierigkeit hemmend entgegen, dass sich diese Pflanzenwurzel in anderen Ernährungsbedingungen befand wie in der natürlichen Ackererde, wo keine fertige, sich gleich bleibende Lösung vorhanden ist, die Pflanzenwurzel vielmehr selbstthätig eingreift, sich selbst Lösungen bereitet u. s. w., kurz, wo eine Komplikation der Ernährungsverhältnisse vorliegt, die wir noch kaum zu übersehen vermögen. Es ist unnötig, diese Schwierigkeiten alle einzeln aufzuzählen; es genügt hervorzuheben, dass bei einer Ernährung durch eine fertige Lösung viele Substanzen in ganz anderer chemischer Form und Gruppierung dargeboten werden müssen, als dies in dem natürlichen Boden, so verschieden dieser auch sonst immer sein mag, geschieht, dass eine Reihe von Funktionen, wie das annähernde Konstanthalten der Lösungen, das beim natürlichen Zustand der Dinge durch eine merkwürdige Eigenschaft der Ackererde genügend besorgt wird, bei jener künstlichen Ernährung durch den Experimentator, der wiederum erst durch eine Reihe von Erfahrungen zu diesen Geschäften geschickt wird, vorgenommen werden müssen.

Die eine dieser Methoden, in ihren Uranfängen sehr alt**), ist die der Wasserkultur; die Pflanzenwurzel taucht geradezu in die wässrige Lösung der Stoffe, die der Pflanze als Nährstoffe zugeführt werden sollen. Die andere, welche eigentlich

*) Auf der Versuchsstation Ida-Marienhütte scheint allerdings etwas Derartiges unternommen worden zu sein. Vergl. Chem. Ackersmann, Bd. 54, p. 187.

**) Du Hamel scheint sie zuerst, wenn auch in unvollkommener Form, angewendet zu haben (vergl. Knop: Kreislauf d. Stoffs, I, p. 572); doch hat gleichzeitig auch Bonnet Ableger verschiedener Pflanzen in blossem Wasser kultiviert; vergl. Untersuchungen über den Nutzen d. Blätter, deutsch, 1762, p. 218.

dieselbe ist, die auch von Wiegmann und Polstorff angewendet wurde, sucht die rein physikalische Beschaffenheit des natürlichen Bodens einigermaassen herzustellen, giebt also der Wurzel einen gewissen mechanischen Halt, ist aber genau wie jene — eine Methode der fertigen Lösung, indem sie alle chemische Weckselwirkung zwischen festen Bodenteilchen und Nährstofflösung ausschliesst; d. h. die festen Teilchen des Bodens sind absolut unlösliche Substanzen und haben auch nicht die Fähigkeit, die Konzentration und relative Zusammensetzung der Lösung in irgend einer Richtung abzuändern.

Aus dem früher Gesagten geht hervor, dass, als man begann, diese Methoden der künstlichen Ernährung der Pflanzen in Angriff zu nehmen, man unmöglich wissen konnte, ob es auf diesem Wege überhaupt gelingen würde, eine Pflanze in normaler Weise fortzubringen. Es war ein Versuch, unternommen auf gut Glück, und man hatte schon jahrelang an der Ausbildung der Methoden gearbeitet, als man noch an dem Erfolge, auf diese Weise Gewächse von einiger Vollkommenheit zu erziehen, verzweifelte*). Und auch jetzt, wo es gelingt, einzelne Pflanzenarten, z. B. Hafer und auch Mais, unter günstigen Umständen in jeder nur denkbaren Üppigkeit**) nach dieser Methode zu erhalten, muss man für andere die Hoffnung zurücklassen, auch nur zu einer Vollendung des Kreislaufs, d. i. die Reproduktion von keimfähigen Samen, des Organismus zu gelangen.

Allein für diejenigen Gewächse, für welche es gelang, die Wasserkultur mit allem nur wünschbaren Erfolg anzuwenden, konnte dieselbe dann auch als vortreffliche Methode, die den Namen einer „durchsichtigen“, der ihr zu teil geworden ist, in vollem Maasse verdient, zur Beantwortung der Frage nach der Entbehrlichkeit oder Notwendigkeit der einzelnen Aschenbestandteile benutzt werden, gerade wie sie auch zur Erledigung von nunmehr hinter uns liegenden Fragen nach der Art der Stickstoffassimilation Verwendung gefunden hat. — Das nähere Verfahren ergiebt sich ganz von selbst. Man ging immer von einer seiner Zusammensetzung nach genau gekannten Nährstofflösung aus, die im stande war, die Pflanzen normal fortzubringen, und liess nun einzelne Stoffe, deren Bedeutung ermittelt werden sollte, entweder einfach weg oder ersetzte sie durch andere chemisch ähnliche Stoffe, bis man endlich Antwort auf die der Natur vorgelegten Fragen erhalten hatte.

Es kann natürlich hier weder meine Aufgabe sein, von allen den technischen Schwierigkeiten zu reden, die bei der Ausbildung der Methode der Wasserkultur überwunden werden mussten, noch eingehender von den Manipulationen zu handeln, mit denen man vertraut sein muss, um sich derselben bedienen zu können. Nur solche Mitteilungen über diese Methode, die sich mehr auf deren *Leistungsfähigkeit* beziehen, darf ich hier nicht zurückhalten. Die „Wasserkultur“ eines Gewächses beginnt zweckmässig mit der Entwickelung desselben aus dem *Samen*. Ganze schon entwickelte Pflanzen, die bis dahin unter gewöhnlichen Verhältnissen in der Erde gewachsen waren, aus dem Boden zu nehmen und nach der Reinigung der Wurzel mit dieser in eine wässrige Lösung zu versetzen, hat man aus mehreren Gründen

*) Knop: Landw. Versuchsst., 1860, p. 287.

**) Vergl. E. Wolff: Landw. Versuchsst., 1868, p. 351 u. f.

beinahe gänzlich aufgegeben. Einmal ist es bei aller Vorsicht nicht möglich, die Pflanze aus der Erde, in welche sie ihre Wurzeln geschlagen, zu entfernen, ohne die feinsten Wurzelhärchen vielfach zu zerreissen, und die stark beschädigte Pflanze hat natürlich weniger Aussicht, in dem ihr fremden Medium üppig zu gedeihen. Und dann bildet die Pflanze ihre Wurzeln in einer wässrigen Lösung und in der feinen Erde so ausserordentlich verschieden aus*), dass dieselben, aus dem einen Medium in das andere verbracht, nicht ohne weiteres fähig sind, dort für die Ernährung der Pflanze, der sie angehören, zu wirken. So hat man beobachtet, dass die Wurzelenden, die in der Erde gebildet worden waren, abstarben**), wenn sie in die Nährstofflösung gebracht wurden, dass sich aber sogleich neue Wurzeln von ganz anderem Aussehen bildeten, die sich ganz wohl in der Lösung befanden und tauglich waren, die Aufnahme von Wasser und gelösten Stoffen zu besorgen, — die Pflanze zu ernähren.

Allein noch ein anderer und wichtigerer Grund zwingt dazu, gerade für die Frage von der Bedeutsamkeit der Aschenbestandteile von der Versetzung schon entwickelter Pflanzen abzustehen und die Kulturmethode so einzurichten, dass der Samen gleich von vornherein in einer wässrigen Lösung seine Wurzel entwickelt. Da die einzelnen in dem ursprünglich ausgelegten Organismus ja notwendig enthaltenen Aschenbestandteile in möglichst geringer Menge vorhanden sein müssen, damit sie während des Kulturversuchs als durch hinreichende Verdünnung *ausgeschlossen* angesehen werden können, so ist es natürlich notwendig, die Pflanze *in dem Stadium* in die Nährstofflösung zu versetzen, wo dieselbe absolut *ein Minimum an Aschenbestandteilen* enthält, d. i. als Samen, und dazu ein Minimum, dessen Grösse sich leicht aus der vergleichenden Analyse von anderen Samen bestimmen lässt. — Wollte man die schon entwickelte Pflanze in die Lösung versetzen, so würde dieselbe schon eine gewisse Menge von Aschenbestandteilen und zwar von solchen, die sich auch durch vergleichende Analyse nur schwierig würden ermitteln lassen, von aussen in sich aufgenommen haben, und es würde so weit schwieriger zu entscheiden sein, ob man z. B. auf die Entbehrlichkeit eines in der Lösung fehlenden Stoffes schliessen kann.

Es darf hier überhaupt die Bemerkung nicht unterdrückt werden, dass der experimentelle Nachweis der Entbehrlichkeit irgend eines im ausgelegten Samen enthaltenen Aschenbestandteils in *voller Strenge* unmöglich bleiben muss, da durch die Kultur mit Ausschluss irgend eines Stoffs in der zugeführten Nahrung nur eine mehr oder minder erhebliche Verdünnung der in den Samen enthaltenen Aschenbestandteile, niemals deren gänzliches Verschwinden erreicht wird. Wir helfen uns indessen hier mit dem auf ganz anderem Wege abgeleiteten Schlusse, dass die physiologische Wirkung eines Stoffes — und auf eine solche läuft am Ende doch die Unentbehrlichkeit desselben hinaus — in einem festen *endlichen* Verhältnisse

*) Vergl. z. B. Stohmann: Landw. Versuchsst., 1862, p. 66; über die Ursachen dieser Erscheinung vergl. P. Wagner: Journ. f. Landw., 1870, p. 103.

**) W. Wolf: Landw. Versuchsst., 1864, p. 203; Knop u. Wolf: ebenda, 1865, p. 346; Knop: ebenda, 1863, p. 97 etc. Übrigens hat die üppigste Wasserkulturpflanze, die ich je gesehen, eine Weizenpflanze mit über 700 Körnern, mit vieler Geduld durch meinen Sohn und Schüler 1891 erzogen, eine kurze Jugendperiode in Erde zugebracht.

stehen muss zu dessen Menge, so dass eine *sehr grosse* Verdünnung, d. i. Verminderung desselben in Bezug auf die nun vorhandene Pflanzenmasse genau dasselbe bedeutet wie eine wirkliche Eliminierung. Jenes Verhältnis muss der Theorie nach ein endliches sein, und so muss sich schon bei einer grossen Verdünnung die Abschwächung der Vegetation fühlbar machen. Es erhellt aber gleichzeitig hieraus, dass der Beweis der Entbehrlichkeit eines im Pflanzensamen enthaltenen Aschenbestandteils um so vollständiger geführt sein wird, je grösser jene Verdünnung, d. h. je kleiner der Same im Verhältnis zu der aus ihm hervorgehenden Pflanze ist etc. Diese Grundsätze sind bei der Beurteilung einer experimentellen Beweisführung für die Entbehrlichkeit eines Stoffs nicht ausser acht zu lassen; sie gelten aber selbstredend nicht für die Wasserkultur allein.

Dies sind die Gründe, die dazu bewogen haben, auch bei der Wasserkultur immer vom Samen auszugehen, und wenn man in einzelnen Fällen dies Prinzip verlassen musste, weil die Pflanzen, mit denen man experimentieren wollte, nicht gut aus dem Samen fortzubringen sind, so büssen derartige Versuche, je nach der Masse des ausgelegten Pflanzenstücks und dessen Gehalt an den fraglichen Bestandteilen, mehr oder weniger von ihrer Beweiskraft ein und sind häufig nur als ein Notbehelf zu betrachten.

Zur Anstellung von Wasserkulturen lässt man also — wenn sie anders den Zweck haben sollen, Fragen nach dem Stoffbedarf zu entscheiden — die Samen in destilliertem Wasser quellen, alsdann in befeuchteten Sägespänen*) oder einem ähnlichen Medium keimen, und wenn dann das Würzelchen und die Plumula eine gewisse Länge erreicht haben, wird die Keimpflanze so über der Nährstofflösung befestigt, dass bloss das Würzelchen in diese eintaucht. Eigentümliche Schwierigkeiten bieten dann die Konzentrationsänderungen, welche die Pflanze durch ihre eigene Ernährung und Stoffaufnahme bewirkt, die Ausscheidungen, die von der Pflanze manchmal vorgenommen werden und durch welche die Reaktion der Flüssigkeit leicht abgeändert wird, und dann zuweilen auch das für manche Gewächse hervortretende Bedürfnis nach Ernährung in verschiedenen Konzentrationsverhältnissen in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien.

Die *Reaktions-* und *Konzentrationsänderungen*, die dadurch veranlasst werden, dass von der Pflanze die gelösten Stoffe und das Lösungsmittel im allgemeinen nicht in dem gerade gegebenen Verhältnisse**) aufgenommen werden, und die Missstände, die durch Ausscheidung aus der Wurzel gegeben werden, können in ihren Folgen am einfachsten wieder gut gemacht werden durch eine häufige *Erneuerung* der Nährflüssigkeit.

Alles in allem kann man sagen, dass bei der Wasserkultur deshalb so viele Vorsichtsmaassregeln gehandhabt werden müssen, weil der Experimentator gezwungen

*) Frische Sägespäne nass machen, dann alles Wasser, das sich auspressen lässt, auspressen; die feuchten gelockerten Späne in einem Gefässe, das wenig Verdunstung zulässt, sind ein vorzüglicher Keimboden.

**) Siehe hierüber die späteren Vorlesungen über Stoffaufnahme, besonders die dreiundzwanzigste.

ist, für eine Reihe von Dingen Sorge zu tragen, die bei dem Gedeihen der Pflanze in der Natur durch die eigentümlichen Eigenschaften des Bodens selbst besorgt werden. Dieser vermag, wie wir später ausführlich kennen lernen werden, ungünstige Konzentrationsverschiedenheiten in sehr mächtiger Weise auszugleichen und auch teilweise Wurzelausscheidungen, da, wo sie erfolgen, unschädlich zu machen, basische Bestandteile der Pflanze zur Verfügung zu stellen, ohne selbst basisch zu sein — mit einem Worte Geschäfte zu besorgen, welche bei dem Auseinanderreissen der Dinge aus ihrem natürlichen Zusammenhange nun in mühseligen Einzelverrichtungen vom Versuchsansteller vollzogen werden müssen. Aus dieser Sachlage erklären sich denn auch höchst naturgemäss die anfänglichen Hindernisse, an denen die Wasserkulturversuche zu scheitern drohten, und die sie auch jetzt noch, trotz den in vereinzelten Fällen glänzenden Erfolgen, in den Händen der meisten zu Experimenten von einigermaassen launischen Resultaten machen.

Hier reiht sich dann unter den zu besprechenden Schwierigkeiten auch der Mangel einer ganzen Reihe von für das Pflanzenleben höchst günstigen physikalischen Eigenschaften an, die der natürliche Boden besitzt (ich nenne nur das Verhalten gegen Wärme), der sich bei der Kultur in Lösungen geltend macht und der geradeso wie das Fehlen jener anderen Eigenschaften des Bodens durch die Umsicht und die Geschicklichkeit des Experimentators ausgeglichen werden muss, so dass es in Anbetracht aller dieser Umstände eher merkwürdig erscheint, dass wir auf dem Wege der Wasserkultur schon zu normalen Resultaten gelangt sind, als dass man von so häufigen Misserfolgen liest, wie dies noch immer der Fall ist.

Die andere Methode nun, die neben der Wasserkultur zur Beantwortung der Frage nach der Notwendigkeit einzelner in der Pflanze vorgefundenen Bestandteile angewendet werden konnte und angewendet worden ist, besteht, wie gesagt, darin, dass die Stoffe der Pflanzenwurzel, ebenso wie bei der eigentlichen Wasserkultur, in Lösungen dargeboten wurden, dass man aber gleichzeitig sucht, den natürlichen Boden bezüglich seiner mechanischen Struktur nachzuahmen. Die festen Teilchen des Bodens sind dabei ganz der Fähigkeit, die Pflanze auch indirekt zu ernähren, beraubt und sollen nur der Wurzel zu ihrer gewohnten Ausbildung verhelfen. Der Boden besteht daher aus Pulver sehr verschiedener unlöslichen Substanzen, wie Kohle und namentlich Quarzsand, weniger zweckmässig auch aus Schwefel oder gröberen Stücken Materials wie Glasperlen.

Zu einer eigentlichen Kulturmethode ist diese Art, die Pflanzen zu erziehen — die ja sonst zur Beantwortung vieler in sehr kurzen Vegetationsperioden zu lösenden Fragen, wie nach der Assimilation des freien Stickstoffs und dergleichen, von sehr vielen Forschern angewandt worden ist —, hauptsächlich von Hellriegel*) ausgebildet worden. Von diesem Forscher ist es in vielen Fällen zu einem normalen Gedeihen der Gewächse bis zur Vollendung aller Vegetationserscheinungen gebracht worden. Dass auch diese Methode Schwierigkeiten zeigen musste, deren Überwindung gerade wie bei der Wasserkultur Zeit und Geduld in Anspruch nahm, geht aus dem Umstand hervor, dass dieselbe einige der soeben bei Besprechung der Wasserkultur

*) Landw. Versuchsst., 1868, p. 103; und 1869, p. 136.

erwähnten Missstände, z. B. der Veränderung der Konzentration der Lösung, während der Dauer der Vegetation von ihr geteilt werden.

Wenn es gilt, die Vorteile und Nachteile dieser Kulturmethode gegen jene andere des reinflüssigen Mediums abzuwägen, so kann zu Gunsten der ersteren neben der etwas grösseren Annäherung an die natürlichen Verhältnisse des gewöhnlichen Bodens hervorgehoben werden, dass es bei derselben möglich ist, auch Beobachtungen anzustellen über den Einfluss verschiedener Wassermengen, welche der Pflanze zur Verfügung stehen, auf die Ausbildung derselben, ohne dabei die Konzentration der dargebotenen Lösung zu ändern. Durch unvollkommenes Anfeuchten des das Gerüst des bodenbildenden Pulvers, wobei alsdann ein Teil der Zwischenräume desselben mit Luft gefüllt ist, kann eine Verminderung der Zufuhr von Wasser bewirkt werden, eine Möglichkeit, die offenbar in dieser Form bei der Wasserkultur ausgeschlossen bleibt. Als Mangel dagegen jener Methode ist neben der Schwierigkeit, wirklich ein ganz unlösliches Material zuzubereiten, insonderheit den Sand rein zu kriegen, vielleicht die geringere „Durchsichtigkeit“ derselben zu nennen, die manche Vorgänge in der Nährstofflösung und an dem Wurzelsystem verhüllt, die bei der reinen Wasserkultur offen zu Tage liegen.

Über die Ausführung der Sand-Kulturmethode, wie wir sie kurz nennen wollen, ist wenig mehr hinzuzusetzen. Von Hellriegel wurde als fester Bestandteil des Bodens bisher reiner mit Schwefelsäure ausgekochter und durch Glühen auch von allen organischen Resten befreiter Quarzsand benutzt. Diesem Quarzsande wurden dann die Nährstofflösungen zugemischt. Salm-Horstmar hat als festen Bestandteil des Bodens ausser Sand auch Zuckerkohle*), feingepulverten Bergkrystall und dergleichen gewählt. Die Gefässe, die er zu den Vegetationsversuchen anwandte, bestanden aus Zinn und waren mit Wachs überzogen, damit die Wurzeln nicht fähig waren, durch Einwirkung auf gläserne Gefässwandungen sich mineralische Stoffe anzueignen. Für manche Fragen gerade auf dem Gebiete der Bedeutung von in kleinen Mengen auftretenden Aschenbestandteilen sind solche rigorosen Versuchsführungen auch kaum zu umgehen.

Über die Resultate, die in Bezug auf die Entbehrlichkeit oder Notwendigkeit der einzelnen Elementarstoffe der Asche, wie man sie nach der Verbrennung der organischen Teile der Pflanze antrifft, durch die eben ihrem Wesen nach angedeuteten Kulturmethoden erlangt worden sind, werden wir in der nächsten Vorlesung zu reden haben.

*) Journ. f. pr. Chem., B. 64, p. 193.

Siebzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. — Die Metalloïde der Pflanzenasche.

Wir haben in der letzten Vorlesung gelernt, welche Methode allein gewählt werden kann zur Beantwortung der uns gestellten Frage nach der *Notwendigkeit oder Entbehrlichkeit der einzelnen Aschenbestandteile.* Jeder für den Organismus einer Pflanze unentbehrliche mineralische Bestandteil muss in der Asche dieser Pflanze aufgefunden werden können; aber unmöglich ist der umgekehrte Schluss erlaubt, dass jeder Bestandteil dieser Asche ein unentbehrlicher Nährstoff sein müsse.

Die Methode, die allein zum Ziele führen kann, ist daher nicht die analytische, sondern jene der künstlichen Kultur, die man auch die synthetische genannt hat. Jene kann uns nur Anhaltspunkte geben, niemals als Beweismittel dienen; sie ist aber in dieser ersteren Eigenschaft wichtig genug. Der Weg, der zur Lösung der Frage stets eingeschlagen worden ist und auch von uns in unserer Behandlung verfolgt werden soll, ist zweckmässig der, dass man von der Analyse der Pflanzenasche ausgeht und die so gefundenen Aschenbestandteile einzeln bei der Kulturmethode auf ihre Entbehrlichkeit prüft, und nicht etwa planlos gleich mit der synthetischen Methode beginnt, indem man alle möglichen chemisch bekannten Stoffe auf ihre Bedeutung als Nährstoffe durchprobiert.

Der künstliche Kulturversuch wird dann weiter unter allen Umständen, um möglichst rasch und unzweideutig zum Ziele zu führen, nach der *Differenzmethode* unternommen werden; d. h. jede einzelne Frage wird durch Versuche entschieden werden müssen, die paarweise angestellt werden, so dass immer ein Versuch vom andern sich durch kein anderes Moment als durch das Fehlen des in seiner Eigenschaft als Nährstoff fraglichen Stoffes unterscheidet, wie dies nach den bekannten logischen Grundsätzen der experimentellen Forschung nicht anders sein kann.

Auf diese Weise ist der vor uns liegende Plan klar verständlich, und es ist also einleuchtend, dass wir mit einer Betrachtung der als Bestandteile der Pflanzenaschen gefundenen chemischen Grundstoffe beginnen müssen und dann zu sehen haben, welcher dieser Bestandteile bei dem Vegetationsversuch als unnütz, welcher als notwendig sich ergiebt.

In der Asche von Pflanzen sind überhaupt schon gefunden worden ungefähr folgende Stoffe*):

*) Es ist hierbei zu erwähnen, dass nicht jede Methode der Aschendarstellung alle hier als Aschenbestandteile bezeichneten Stoffe zu gewinnen möglich macht. So wird z. B. bei dem unvorsichtigen Einäschern von Pflanzenorganen, die einen so grossen Gehalt an Phosphor im Verhältnis zu den vorhandenen Basen haben, z. B. Getreidekörner, dass in der Glühhitze sich saure Phosphate bilden, aller Schwefel verloren gehen können, nämlich als freie Schwefelsäure entweichen. Aus diesem Grunde werden bei der Einäscherung allerlei Maassregeln zur Verhütung derartiger Verluste vorgeschlagen und beobachtet. Aber aus demselben Grunde ist

Von *Metalloïden,* ausser dem *Sauerstoff,* der mit den meisten andern Elementarbestandteilen der Asche Verbindungen bildet, und über dessen Ursprung wir durch die früher angestellten Betrachtungen hinreichend Auskunft erhalten haben:

Schwefel, Phosphor, Arsen, Silicium, Titan, Bor), Chlor, Brom, Jod* und *Fluor,* also so ziemlich alle; ausserdem natürlich Kohlenstoff, wenn man die in der Regel kohlensäurehaltige Asche analysiert.

Von *Metallen* nur eine beschränktere Anzahl, nämlich:

Kalium, Natrium, Lithium, Rubidium, Magnesium, Calcium, Barium, Strontium, Eisen, Aluminium, Zink, Mangan, Kobalt, Nickel und *Kupfer.*

Einzelne von diesen Stoffen sind nur in überaus seltenen Fällen gefunden worden; folgende aber unter allen Umständen oder wenigstens fast in jeder eingeäscherten Pflanze und beinahe in jedem Pflanzenteil: *Schwefel, Phosphor, Silicium, Chlor; Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium* und *Eisen;* ferner sehr häufig, aber mehr in einzelnen Pflanzenarten oder gewissen Organen: *Jod, Fluor, Aluminium* und *Mangan.* Alle übrigen sind von ganz vereinzeltem oder äusserst sparsamem Vorkommen.

Es war, wie gesagt, natürlich, dass man bei den Kulturversuchen von den allgemeinst verbreiteten Stoffen ausging, aus diesen Nährstofflösungen komponierte und durch Weglassen einzelner Stoffe aus diesen Lösungen auf deren Bedeutung für das Pflanzenleben prüfte. Für die andern Stoffe war ja schon durch den analytischen Befund ihre häufige Entbehrlichkeit bewiesen. Für die erstgenannten handelte es sich nun darum, die passende chemische Form aufzufinden, in der die Stoffe allein der Pflanze verabreicht werden konnten. Die Aschenanalyse gab hierüber keine genügende Auskunft. Man schloss sich zwar in der Wahl der chemischen Verbindungen, in welchen man die betreffenden Stoffe der Pflanze verabreichte, insofern an die Natur an, als man sich, soweit es möglich war, an die chemische Form hielt, in welcher die Aschenbestandteile im fruchtbaren Erdreich vorzukommen und dort mit der Pflanzenwurzel in Berührung zu kommen pflegen. Dennoch lag in der Auffindung der passenden Verbindungen ein grosser Teil der Schwierigkeiten, die man bei der Ausbildung der entsprechenden Kulturmethoden zu überwinden hatte.

Namentlich mussten sich solche Schwierigkeiten bei der Differenzmethode geltend machen, da, wenn man irgend einen der Grundstoffe aus einer leistungsfähigen Nährstofflösung weglassen wollte, man zugleich die neutrale Reaktion, wie sie wenigstens annähernd von der Pflanze gefordert wird, stören musste. Wollte man z. B. aus einer Lösung, mit der bis dahin gute Erfolge erzielt worden waren, das Natrium weglassen, so war dies nicht möglich, ohne die Menge eines Metalloïds gleichfalls zu vermindern, oder die eines andern Metalls zu vermehren, wollte man nicht die Nährstofflösung stark sauer werden sehen, und umgekehrt. Man ersieht aus diesem Verhältnis, dass eine ganz exakte Differenzmethode, wo bei beiden zu vergleichenden Versuchen gar nichts verschieden sein darf, als das eine auf seine Wirksamkeit zu

der Schwefel nicht immer als den Aschenbestandteilen zugehörig betrachtet worden. Vergl. J. Sachs: Handbuch der Experim.-Physiol. d. Pfl., p. 141.

*) Dieses Element z. B. in belgischen Pflanzenprodukten auf Bodenarten, welche das borsäurehaltige Mineral Turmalin enthalten. Vergl. Biederm. Centralbl., 1890, p. 351.

prüfende Moment, im vorliegenden Falle eine Unmöglichkeit ist. Man sah sich so vielfach bei Anstellung der entscheidenden Experimente gezwungen, neben zwei solchen Versuchen noch eine dritte Klasse in die Versuchsreihen aufzunehmen, worin die Unschädlichkeit der notgedrungen getroffenen Änderung erwiesen wurde, um so indirekt dennoch den Schluss auf die Unentbehrlichkeit jenes ersten weggelassenen Stoffes machen zu können. Es ist aber hieraus zugleich klar, dass die Beweisführung nicht immer ganz unzweideutig sein konnte und dass manchmal sich Widersprüche gegen deren Stichhaltigkeit erheben mussten.

Aber nicht bloss aus den hier angeführten Gründen werden wir sehen, dass über die Bedeutung einiger mineralischen Bestandteile auch jetzt noch nicht endgültig geurteilt werden kann, trotzdem dass viele und aufmerksam angestellte Versuche vorliegen; es giebt noch andere Ursachen, warum über die Entbehrlichkeit oder Unentbehrlichkeit eines Aschenbestandteils in einzelnen Fällen nicht abgesprochen werden kann. Diese sind die Ungleichwertigkeit der einzelnen Bestandteile für den pflanzlichen Organismus und die ausserordentlich verschiedenen Mengen, in denen dieser jener Stoffe bedarf.

Ich möchte für diese Zwecke darauf hindeuten, dass, wenn irgend ein mineralischer Bestandteil einer Pflanze für diese unentbehrlich ist — sie also stirbt, sobald sie diesen Stoff nicht in aufnehmbarer Form in ihrer Umgebung antrifft, man doch den Grund dieses Sachverhalts einzig darin suchen darf, dass ein solcher Stoff *bei irgend einem physiologischen Prozess,* dessen Verlauf zur Erhaltung des Lebens der Pflanze aus irgend einem Grunde *notwendig ist, eine Rolle spielt,* welche durch einen andern Stoff nicht übernommen werden kann. Wenn nun ein solcher Prozess nur in verhältnismässig kleinen Dimensionen verläuft, oder wenn der bei dessen Verlauf beteiligte Aschenbestandteil nur in kleinen Mengen in diesen Prozess eintritt, so kann die Menge eines solchen Stoffes, deren die Pflanze notwendig bedarf, ziemlich klein sein und möglicherweise in die Grenzen unserer Versuchsfehler fallen; d. h. wir bemerken seine Unentbehrlichkeit nicht, weil die Mengen, die durch Unreinigkeit der verwendeten Materialien, durch den Gehalt des ausgelegten Samens, durch Staub etc. zu der Versuchspflanze gelangen, für das geringe Bedürfnis genügen.

Ebenso ist es theoretisch denkbar, dass manche physiologischen Prozesse, die an die Anwesenheit eines Aschenbestandteils unabänderlich geknüpft sind, nicht notwendig vollzogen werden müssen, damit die Pflanze ein normales Gedeihen zeige, die aber derselben in mehr oder minder erheblichem Grade nützlich sind, und vielleicht nur unter ganz bestimmten Ernährungsverhältnissen sich unentbehrlich zeigen. Bei den Tieren giebt es bekanntlich derartige Prozesse, wie die Gallenabsonderung in den Darmkanal, die vollständig unterbrochen werden kann, ohne dass das Tier bei zweckmässiger Ernährung erheblich leidet. In solchen Fällen wird der Versuch nach der Differenzmethode die Förderlichkeit des Zusatzes mancher Aschenbestandteile bei mehr oder weniger vollständiger Entbehrlichkeit derselben ergeben. — Es erscheint also fast selbstverständlich, dass man neben *unentbehrlichen Mineralstoffen* auch *nützliche* zu unterscheiden haben wird.

Aus den gemachten Mitteilungen ist die Schwierigkeit einer klaren Deutung mancher Resultate der Kulturversuche ersichtlich. — Dennoch ist es gelungen, in

den meisten Fällen durch energisches Fortsetzen der experimentellen Fragestellung zu ganz feststehenden Resultaten zu gelangen, und sogar ein guter Teil unserer modernen Düngerlehre beruht auf den Resultaten dahin gerichteter Arbeiten.

Wenn nun diese Resultate in folgendem einfach und ohne auf die Details der Beweisführung einzugehen, mitgeteilt werden sollen, so ist noch hervorzuheben, dass — und dies geht in gleicher Weise aus den theoretischen Anschauungen über die Bedeutung der Aschenbestandteile hervor — der Bedarf einer Pflanze an mineralischen Stoffen von vorneherein nicht maassgebend sein kann für den einer andern botanisch nahestehenden. Nachdem einmal eine grössere Reihe von Versuchsresultaten gesammelt worden ist, lassen sich derartige Schlüsse aus der Analogie allerdings in vielen Fällen machen. — In verschiedenen Pflanzenarten können im allgemeinen immer neben einer Reihe für beide gemeinsam stattfindender physiologischer Prozesse auch einzelne nur für eine oder die andere bedeutungsvolle vor sich gehen. Sehen wir ja doch in manchen Pflanzenarten organische Verbindungen auftreten, die andern nahe verwandten völlig fremd sind, und so sich Funktionen vollziehen, die in andern nicht ausgeübt werden können etc. Da wir nun die Meinung hegen müssen, dass die notwendigen oder nützlichen Aschenbestandteile zu solchen einzelnen Prozessen in Beziehung stehen, so wird auch voraussichtlich das Aschenbedürfnis für verschiedene Pflanzenformen ein verschiedenes sein und um so mehr voneinander abweichen, je grössere Unterschiede in der ganzen Organisation und Lebensweise zweier zu vergleichenden Pflanzenformen bestehen. Wir werden später sehen, inwieweit sich diese Voraussetzung bestätigen wird.

In unserer Rekapitulation der experimentellen Beweisführung*) wird nun zunächst Ausgang genommen werden von der genannten Stoffgruppe, die den durchschnittlichen analytischen Befund in der Asche der höheren grünen Pflanzenwelt repräsentiert. Diese ist wie gesagt: Schwefel, Phosphor, Silicium, Chlor; Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium und Eisen.

Alle Vegetationsversuche mit höheren Pflanzen, die unter Ausschluss von *Schwefel* angestellt worden sind, haben das gleiche Resultat der vollen *Unentbehrlichkeit* dieses Elements ergeben. Mehr oder minder bald, aber immer schon im frühesten Jugendstadium, zeigten alle Pflanzen, die in Lösungen ohne dies Element gezogen worden waren, eine höchst mangelhafte Ausbildung und konnten es niemals zu einer erheblichen Produktion von organischer Substanz bringen.

In Bezug auf die chemische Form, in der dieser Stoff der Pflanzenwurzel dargeboten werden muss, kann auch mit voller Bestimmtheit ausgesprochen werden, dass nur die schwefelsauren Salze von Basen, die gleichfalls unentbehrliche Pflanzen-

*) Vergl. Salm-Horstmar: Journ. f. prakt. Chemie, B. 46, p. 193; B. 52, p. 1; B. 54, p. 129; B. 61, p. 149; B. 64, p. 1; B. 73, p. 790 u. B. 84, p. 140; J. Sachs: Landw. Versuchsst., 1860, p. 22 u. 219; 1861, p. 30; Knop: Landw. Versuchsst., 1860, p. 65 u. 270; 1861, p. 295; 1862, p. 173; 1865, p. 341; ferner dessen Lehrbuch: Der Kreislauf des Stoffs, p. 604—634; Stohmann: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 121, p. 323; Landw. Versuchsst., 1864, p. 347; Nobbe u. Siegert: Landw. Versuchsst., 1862, p. 318; 1863, p. 116; 1864, p. 19 u. 108; 1865, p. 371; Rautenberg u. G. Kühn: Landw. Versuchsst., 1864, p. 355; Lucanus: ebenda, 1865, p. 363 u. f. etc. etc.

bestandteile sind oder wenigstens sich als unschädlich erwiesen haben, also das schwefelsaure Ammoniak und Kali, die schwefelsaure Magnesia, der schwefelsaure Kalk, in zweiter Linie dann auch das schwefelsaure Natron der Pflanze ihren Schwefel zu liefern vermögen. Der unverbundene Schwefel, die Schwefelmetalle*), schwefligsauren Salze, unterschwefligsauren Salze und die vielen andern Schwefelverbindungen, welche sauerstoffärmer als die Sulfate sind, können nicht zur Ernährung der Pflanze dienen, sondern erweisen sich alle mehr oder minder *schädlich* für das Pflanzenleben**). Nur die sauerstoffreichsten Schwefelverbindungen, die genannten schwefelsauren Salze und zwar die neutralen schwefelsauren Salze sind die Form, in welcher der Wurzel der höheren grünen Pflanze der Schwefel dargeboten werden muss.

Wenn es sich nun darum handelt, den so allgemeinen Bedarf der Pflanzenwelt an Schwefel seiner Ursache nach zu ergründen, so erinnern wir uns sogleich, dass ja die Proteïnstoffe, deren Bedeutung für den pflanzlichen Organismus uns schon früher bekannt geworden ist, samt und sonders schwefelhaltig sind, und zwar 1 % oder etwas weniger von diesem Elemente enthalten. Diese Proteïnstoffe vermehren sich aber notwendig während der Entwickelung der Keimpflanze zu einem vollständig ausgebildeten Gewächs, und wie aus diesem Grunde eine fortwährende Stickstoffzufuhr während dieser Entwickelung notwendig ist, so muss auch fortwährend neuer Schwefel in die Pflanze gelangen. Dieser wird durch die Wurzeln als schwefelsaures Salz aufgenommen***) und erleidet durch einen uns völlig unbekannten chemischen Prozess und an einem ebenso unbekannten anatomischen Orte in der Pflanze eine Reduktion, um dann einen Bestandteil der sauerstoffärmen Proteïnstoffe zu bilden. Umgekehrt kann dann auch wieder, wo wie in Keimpflanzen Proteïnstoffe durch Oxydationsprozesse verbraucht werden, der in ihnen gebundene Schwefel (gerade wie zu einem grossen Teile beim Stoffwechsel der Tiere) in Form von Schwefelsäure wieder abgespalten werden †).

Es giebt nun ausser den Proteïnkörpern noch einige andere, wenn auch mehr vereinzelt vorkommende schwefelhaltige organischen Verbindungen in manchen Pflanzen. Die scharfen ätherischen Öle, die dem *Senfsamen,* dem *Meerrettig,* dem *Knoblauch* und andern Pflanzen und Pflanzenteilen ††) ihren scharfen Geschmack erteilen, sind

*) Schleiden hatte eine Zeit lang den Schwefelwasserstoff als Schwefelquelle der Pflanze bezeichnet. Doch hat die spätere Forschung eine derartige Ernährung nur für niedrige Organismen (Schwefelbakterien) bestätigt, die den genannten Körper als Energiequelle gebrauchen. Bei höheren Pflanzen scheint im Gegenteil in der Keimperiode zuweilen Schwefelwasserstoff ausgeschieden zu werden. Eine Ausscheidung von diesem Gase wurde z. B. durch Aug. Vogel wahrgenommen, als er Kresse im Dunkeln keimen liess.

**) Über die Gründe der schädlichen Einwirkung der SO_2 auf die Pflanzen vergl. J. v. Schröder: Landw. Versuchsst., B. 15, p. 321.

***) Über die Möglichkeit, dass ein Teil dieses S vielleicht auch in organischer Form aufgenommen wird, vergl. Berthelot: Compt. rend., 1891, 19. Jan. Doch kann es sich in den dort besprochenen Fällen vielleicht auch um Sulfaternährung aus schwefelhaltigen organischen Stoffen der Erde handeln, d. h. es gehen diese Stoffe möglicherweise erst in die hochoxydierte Form über.

†) E. Schulze: Landw. Versuchsst., B. 19, S. 172; auch G. Tammann: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1886, R. 261. Derselbe Prozess auch in der erwachsenen Pflanze nach der Blüte; vergl. Berthelot: A. a. O.; auch E. Schulze: Landw. Jahrb., 1892, p. 118.

††) Z. B. einigen Umbelliferen, von deren einer die *Asa foetida* gewonnen wird, einer ganzen Reihe von Cruciferen ausser der genannten etc.

schwefelhaltige Verbindungen von einer ähnlichen Konstitution wie der gewöhnliche Äther, in dem der Sauerstoff durch Schwefel vertreten ist*). Auch dieser Gehalt an Schwefel muss von den betreffenden Pflanzen von aussen in Form von schwefelsauren Salzen aufgenommen werden. — Ob noch der Schwefel ausser dem Eintritt in die genannten Substanzen andere Funktionen im pflanzlichen Organismus zu vollziehen hat, ist unbekannt. Jedenfalls genügt die zuerst hervorgehobene Beziehung, um seine Unentbehrlichkeit zu erklären und den ganz allgemeinen Bedarf an Schwefel begreiflich zu machen. Manche Pflanzen, wie namentlich Seegewächse und Equisetaceen enthalten grosse Mengen von schwefelsauren Salzen, ohne dass aber bis jetzt ein Grund dafür geltend gemacht werden konnte, dass diese Salze nützlich für die Pflanzen sind, in denen sie angetroffen werden. Auch unsere Kulturgewächse enthalten in der Regel neben ihren organischen Schwefelverbindungen grössere Mengen von schwefelsauren Salzen**). Wir werden später beim Studium der Gesetze der Stoffaufnahme noch deutlicher sehen, dass eine solche Anhäufung nicht notwendig einen Nutzen bedeutet.

Auch unter allen den vielen andern Organismen, die in dieser Richtung ziemlich vollständig auf ihre Ernährung geprüft worden sind, giebt es kaum solche***), für welche der Bedarf an Schwefel in Zweifel gezogen worden wäre. Es braucht aber kaum hinzugesetzt zu werden, dass die Aufnahme des Schwefels bei den verschiedenen Organismen in sehr verschiedener chemischer Form geschieht. Diejenigen, welche wie die Tiere die Proteïnstoffe nicht in sich zu bilden im stande sind, sondern dieselben notwendig von aussen aufnehmen müssen, beziehen natürlich gleich in dieser Form ihren Schwefel wie ihren Stickstoff und scheinen diese Elemente im übrigen entbehren zu können.

Ein zweiter metalloïdischer Elementarbestandteil der Pflanzenasche, der *Phosphor*, ist bei allen Vegetationsversuchen ebenso *unentbehrlich* für die Pflanzen gefunden worden wie der Schwefel. Es ist noch nie gelungen, nicht bloss eine höhere grüne Pflanze, sondern ebensowenig irgend einen anderen Organismus in normaler Weise fortzubringen, wenn der Phosphor unter den Nährstoffen, die zugeführt wurden, fehlte.

Wie der Schwefel der chlorophyllhaltigen Pflanze nur in Form von schwefelsauren Salzen zugeführt werden darf, so muss auch der Phosphor in der höchst oxydierten Verbindung, in Gestalt der gewöhnlichen phosphorsauren Salze dargeboten werden. Freier Phosphor, Phosphorwasserstoff, Phosphormetall, phosphorigsaure und unterphosphorigsaure Salze können nicht zur Ernährung der Pflanze dienen, sind vielmehr wie die entsprechenden Schwefelverbindungen grossenteils heftige Gifte für das Pflanzenleben.

*) Das Knoblauchöl ist Schwefelallyl $S(C_3H_5)_2$; das Senföl ist eine Isomere des Schwefelcyanallyls.

**) Vergl. Arendt; Wachst. der Haferpfl., p. 157; und Berthelot a. a. O.

***) Die wiederholten Bemühungen des Verfassers, das Bedürfnis des Bierhefepilzes an Schwefel zu diskutieren, sind an dem Umstande gescheitert, dass dieses Element nicht gänzlich aus dem Rohmaterial, dem Zucker, beseitigt werden konnte. Ebenso unentschieden blieben die Versuche eines Schülers, welcher die gleiche Frage an Saccharomyces Mycoderma zu diskutieren unternahm. Dagegen wurde jüngst die Entbehrlichkeit für Bakterien behauptet.

Assimilierbare phosphorsaure Salze sind entweder die an und für sich in Wasser löslichen des Ammoniaks, des Kalis und des Natrons oder die, welche erst mit Hilfe von Kohlensäure oder anderen Salzen, wie Nitraten, Ammoniaksalzen*), Kochsalz, oder endlich durch die lösende Kraft der Wurzel selbst (durch die daselbst anwesenden Pflanzensäuren) inAuflösung gebracht werden können, sowie unlöslicher phosphorsaurer Kalk, Magnesia und Eisenoxyd oder -oxydul**). Man kann also sagen, dass alle Salze der gewöhnlichen Orthophosphorsäure, wenn nur die Basen unschädlich sind und die Löslichkeit derselben mit oder ohne Mitwirkung von anderen Stoffen gross genug ist, passende Nährstoffe sind und ferner dass es auch auf die mehr oder minder saure Natur des Salzes wenig ankommt***). So ist das saure phosphorsaure Kali, in welchem Salze nur eine Basizität der Phosphorsäure gesättigt ist, eine vortreffliche Form für den zu assimilierenden Phosphor; aber ebenso kann auch das gewöhnliche phosphorsaure Natron, in dem zwei Basizitäten, der dreibasische phosphorsaure Kalk, in welchem Salze drei Basizitäten der Phosphorsäure gesättigt sind, viel besser allerdings das löslichere Bicalciumphosphat mit nur zwei gesättigten Basizitäten, wenn ein lösender Stoff vorhanden ist, der die Aufnahme vermittelt, als passendes Nährmittel dienen, woraus übrigens, wie ich schon an dieser Stelle ausdrücklich bemerke, nicht hervorgeht, dass die schwerlöslichen Formen auch immer rentable Düngemittel sind. Doch ist dies alles mehr eine Ausdrucksweise, die Bezug hat auf die beigemischten, nicht die wirklich aufgenommenen Stoffe, denn es ist natürlich nicht immer thunlich, auszusagen, in welcher Form die Aufnahme geschieht, da in einer kompliziert zusammengesetzten Lösung mannigfache Umsetzungen möglich sind und in Bezug auf eine solche nach unsern jetzigen Anschauungen über Dissociation kaum von der näheren Gruppierung der einzelnen Säuren und Basen gesprochen werden kann†). Die gemachten Angaben beziehen sich also mehr auf die Form, in der man nach den bisherigen Erfahrungen den Phosphorzusatz zu den Nährstofflösungen vornehmen kann.

*) Vergl. z. B. J. Liebig: Ann. d. Chemie u. Pharm., B. 61, p. 208, und ebenda, B. 106, p. 185, und besonders p. 193—195, an welchem Orte selbst die grosse Düngewirkung dieser Salze wesentlich in ihrer Eigenschaft als Lösungsmittel gesucht wird.

**) Bei der Aufnahme der Phosphorsäure aus phosphorsaurem Eisenoxyd und anderen schwer löslichen Stoffen durch direkte Wurzelthätigkeit ist der Vorgang natürlich kompliziert. Dabei spielt die Wurzel eine selbständige Rolle und zerlegt die ihr dargebotene Verbindung, um aus derselben vorzugsweise Phosphorsäure zu assimilieren, wie aus der Braunfärbung der auf die Wurzeln bei der Wasserkultur aufgeschlemmten Verbindung hervorgeht. In ähnlicher Weise nehmen auch Pflanzenwurzeln, wie ich beobachtet habe, aus ihnen dargebotenen löslichen Kalkphosphaten die Phosphorsäure in überwiegenden Mengen auf, also dass basisches Phosphat um die Wurzeln herum zur Abscheidung gelangt.

***) Meta- und pyrophosphorsaure Salze werden gewöhnlich nicht als Nährstoffe betrachtet. Aber praktisch ist dieser Satz ohne grosse Bedeutung, da sie, in Boden gebracht, meist rasch in orthophosphorsaure Salze hydratisieren und auch Düngungsversuche bekannt sind, wobei keine greifbaren Unterschiede ermittelt werden konnten. Vergl. Eggertz & Nilson, Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1893, p. 378.

†) Vergl. freilich die von Emmerling vorgeschlagene Methode, welche für die mannigfachsten Fragen noch fruchtbar zu werden verspricht; Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., B. V, p. 780.

Auch über den Sinn des Bedarfs der Organismen an Phosphor wissen wir einiges anzugeben. Einmal zeigen die Proteïnstoffe nach vielen Angaben neben dem Gehalt an Stickstoff und Schwefel auch noch häufig erhebliche Mengen von Phosphor oder besser von Phosphaten; und wenn es auch gelingen mag, künstlich die Proteïnstoffe so zu reinigen, dass sie den Phosphorgehalt vollständig verlieren, ohne dass die Mehrzahl von ihnen deshalb an ihren Eigenschaften als Proteïnsubstanzen etwas einbüsst, der Phosphor also mit andern Worten nicht als mit zur Konstitution des Eiweissmoleküls gehörig betrachtet werden darf, so geht doch noch aus andern Beobachtungen die innige Beziehung der Phosphate zu gewissen Proteïnstoffen im Organismus hervor. Manche Eiweissstoffe nämlich — sind diese Untersuchungen auch vorläufig erst für die des Tierreichs durchgeführt — verlieren ihre spezifischen Eigenschaften, wenn man sie ihres Gehalts an Phosphaten beraubt. Das Albumin verliert seine Eigenschaft zu gerinnen, wenn man ihm die phosphathaltigen mineralischen Bestandteile zuvor auf dem Wege der Dialyse entzieht. Das tierische Caseïn, nach der Methode von Hammarsten von den Aschenbestandteilen befreit, schlägt auch nicht mehr nieder unter dem Einflusse des Chymosins des Kälberlabs. Proteïnstoffe im allgemeinen sind freilich diese veränderten Stoffe geblieben, aber ihre spezifischen charakteristischen Eigenschaften sind z. T. verloren gegangen.

Bei solchen intimen Beziehungen kann es nicht wunder nehmen, wenn sowohl im Tiere als in der Pflanze Phosphor und die eiweissartigen Stoffe eine gewisse Zusammengehörigkeit zeigen, die auf eine vorübergehende chemische Verbindung dieser Stoffe schliessen lässt. Als dahin gehörige Beobachtungen sind unter anderem zu nennen: die von W. Mayer aufgefundene und von Zöller und Siegert teilweise bestätigte Beziehung*) zwischen dem Stickstoffgehalt, d. i. also Eiweissgehalt von Getreidekörnern und andern Samen und deren Reichtum an Phosphorsäure, dann namentlich die sowohl aus Felddüngungsversuchen, wie aus Kulturen in Nährlösung bekannte Regulierung einer Körnerernte nach der Menge der zugeführten Phosphorsäure**), wodurch die Abhängigkeit zwischen der *Bildung der Proteïnstoffe* und

*) Auf 1 Teil Phosphorsäure ward damals gefunden Stickstoff: im Roggen 2,0—2,4, im Weizen 1,8—2,2, im Hafer ebenso, in der Gerste 1,8—2,1, im Spelz 2,1—2,3, in den Erbsen 3,3—4,1 Teile (vergl. Jahresbericht. für Chemie, 1857, p. 338); ähnliche Zahlen auch von andern (vergl. auch Göbel: Agrikulturchem., 1858, p. 59). Es darf indessen wegen der hieraus zu ziehenden Folgerungen nicht verschwiegen werden, dass in den zerkleinerten und durch die gewöhnlichen Methoden in einzelne Gewebeelemente gesonderten Körnern sehr veränderte Verhältnisse aufgefunden wurden; so in feinem Weizenmehl 1 : 10,1; in der Weizenkleie 1 : 1,5, wodurch die gemachte Schlussfolgerung natürlich schwer berührt wird. Auch Siegert (Landw. Versuchsst., 1861, p. 157) hat nachgewiesen, dass sich jenes Verhältnis bei verschiedenartiger Düngung nicht konstant erhalte. — Ähnliche Beobachtungen will Boussingault (Ann. de chim. et d. phys., B. 50, p. 479) schon vorher gemacht haben; vergl. auch dessen Agronomie etc., 1860, I, p. 362. — Vergl. auch J. v. Schröder (Landw. Versuchsst., 1868, p. 509), der die Verhältnisse zwischen Phosphorsäure und Stickstoff in den verschiedenen Teilen einer Keimpflanze (von Bohne) wie 1 : 1,73 bis 1 : 4,17 fand. Endlich E. Wolff: Die Mineralstöffler und die Stickst., 1858, p. 8.

**) Bei einem Übermaasse an Phosphorsäure kann freilich wieder das Entgegengesetzte eintreten. Vergl. P. Wagner: Einige praktisch wichtige Düngungsfragen etc., 1884, p. 51.

dem *Vorhandensein von Phosphorsäure* ins Licht gestellt wird, wenn auch der Befund nicht für eine chemische Verbindung, in der die beiden Stoffe noch zur Zeit der Samenreife verbleiben, spricht. Mit andern Worten, man hat allen Grund, zu vermuten, dass der Phosphor bei der Erzeugung der Proteïnkörper eine Rolle spielt.

Ähnliche Beobachtungen sind vielfach für die Pflanze gemacht worden. Man hat häufig darauf hingewiesen, dass aus Pflanzenorganen, aus denen z. B. die Proteïnstoffe auswandern*), auch die Phosphorsäure verschwindet, so dass die beiden bis zu einem gewissen Grade als unzertrennliche Begleiter im Organismus anzusprechen sind, wenn auch ein genau gleichbleibendes Verhältnis sich nicht in jedem einzelnen Falle feststellen lässt. Jeder protoplasmatische Zellsaft enthält auch erhebliche Mengen von Phosphor, grösstenteils in gelöster Form, und ältere Gewebe, die nicht mehr reproduktionsfähig sind, und aus denen jene Proteïnsubstanzen nahezu verschwunden sind, kann man in der Regel auch als verarmt an Phosphor betrachten.

Als am deutlichsten sprechendes Beispiel kann aber angeführt werden die durchgängig wahre Thatsache, dass tierisches Gewebe und daher auch in gewissem Grade deren Auswurfstoffe so sehr viel reicher an Phosphorsäure sind als Pflanzenteile und auch sich durch ihren grossen Stickstoffgehalt gegenüber diesen auszeichnen. Dieses Verhältnis, an welches wir später in der Düngerlehre wieder anzuknüpfen Gelegenheit finden werden, springt namentlich ins Auge, wenn man die Phosphorsäure mit dem Kali vergleicht, welches wir namentlich im vegetierenden pflanzlichen Gewebe in so bedeutenden Mengen finden, während es in dem viel eiweissreicheren tierischen ganz in den Hintergrund tritt. Eine ausgearbeitete Theorie für den Sinn dieses Verhältnisses ist aber zur Zeit nicht vorhanden**).

Die gegebenen Erörterungen erklären das so ausnahmslos für jeden Organismus notwendige Vorhandensein des Phosphors unter seinen Bestandteilen; denn

In Wahrheit scheint die Sache so zu liegen, dass Phosphorsäure auf Vermehrung der Eiweissstoffe wirkt und von diesen natürlich der Körnerertrag abhängig ist, dass aber der gleiche Nährstoff noch die Nebenwirkung hat, auf die Wanderung der Eiweissstoffe hemmend zu wirken, wodurch ein Übermaass gerade der Körnerentwickelung schaden kann. Vergl. auch über diese Beziehungen: Ad. Mayer: Landw. Versuchsstationen, 41, p. 433.

*) Vergl. namentlich Corenwinder: Compt. rend., T. 50, p. 1135, und Jahresbericht f. Agrikulturch. 1860—61, p. 30. Auch die Beobachtungen von Kraus an sommerdürren Baumblättern (Bot. Ztg., 1873, No. 26) weisen auf diese Beziehung hin, insofern aus jenen Stärkemehl mit Kali auswandert, Proteïnstoffe und Phosphor in denselben verbleiben, während aus alten absterbenden Blättern beide Stoffgruppen gleichzeitig sich entfernen. Nach Rissmüller (Landw. Versuchsst., B. 18, p. 194) ist die Beziehung zwischen Proteïnstoffen und Phosphor bei der Stoffwanderung in Baumblättern nicht immer so einfach, wie man gewöhnlich annimmt, und wird durch einzelne Autoren auch wohl ganz in Abrede gestellt. Vergl. Wehmer: Chem. Centralbl., 1892, I, p. 949. Über Wanderung dieser und anderer Aschenbestandteile durch die Pflanze vergleiche namentlich die ältere, aber noch immer mustergültige Arbeit Arendt's: Landw. Versuchsst., 1859, p. 31—66.

**) Am ersten wäre noch an das Lecithin als Spaltungsprodukt und Baustoff der Eiweissstoffe zu denken, ein Körper, der sich seinerseits durch Hydrolyse in Stearinsäure, Glycerinphosphorsäure und Cholin spaltet. Über das Vorkommen von Lecithin in Pflanzen vergl. E. Schulze und Frankfurt: Landw. Versuchsst., 43, p. 303.

jeder Organismus bedarf der eiweissartigen Stoffe unumgänglich notwendig, und von diesen Stoffen ist der Phosphor in gewissen Mengen ein unzertrennlicher Gefährte. Auch in Bezug auf die Quantität, in welcher der Phosphor in den Pflanzen auftreten muss, lässt sich aus dem Gesagten bereits ein Schluss machen, nämlich der, dass dieser Grundstoff in weit grösseren Mengen in der Pflanze vertreten sein wird als der Schwefel. Der Phosphor, der in seinem Vorkommen an die proteïnhaltigen Pflanzenorgane geknüpft ist, steht zu dem Stickstoff dieser Organe in einem weit höheren Verhältnisse als der Schwefel. Dasselbe bestätigt denn auch die Aschenanalyse in allen den Fällen, wo nicht durch eigentümliche Verhältnisse Gelegenheit zur Anhäufung schwefelsaurer Salze von zweifelhafter Nützlichkeit gegeben ist. Eine übermässige Anhäufung von phosphorsauren Salzen in den Gewächsen scheint schon wegen des sehr sparsamen Vorkommens dieses Stoffs in den natürlichen Nährböden nur in ganz vereinzelten Fällen vorzukommen*).

Als drittem Metalloïd von sehr allgemeiner Verbreitung in den höheren pflanzlichen Organismen hätten wir vom *Silicium* zu reden. Dieser Aschenbestandteil findet sich jedoch an ganz anderen Orten angehäuft wie die beiden eben behandelten Grundstoffe, nämlich nicht da, wo die Proteïnstoffe im pflanzlichen Gewebe vorherrschend sind, sondern vermutlich in Form von Kieselsäure der Zellhaut eingelagert. Und zwar sind es die älteren Zellhäute, die auch sonst durch Kutikularisierung und Verholzung mannigfache Abänderungen von der ursprünglichen Beschaffenheit erfahren haben, welche auch vorzugsweise zur Einlagerung von Kieselsäure, die manchmal bis zu einer vollständigen Verkieselung**) führt, geneigt sind. Wir werden also das Silicium in der Pflanze mehr in den Organen, die keinen regen Stoffwechsel mehr unterhalten, keiner Weiterentwickelung mehr fähig sind, zu suchen haben. Weiter sind es die eine Pflanze nach aussen hin abgrenzenden Gewebepartieen, welche dieser Einlagerung vorzugsweise unterliegen. Wir finden also eine siliciumreiche Asche in älteren***) Blättern und Stengeln, ferner in grosser Menge in den sog. Spelzen und Grannen der Getreidearten, in Rinden, also Geweben, die mehr zum Schutze für andere Pflanzenteile dienen†), während es in den eigentlichen Reservestoffbehältern und in der Nähe des Embryo, z. B. in den geschälten Samen und auch im Holze††) stets in zurücktretender Menge vorhanden ist.

Ferner sind gewisse Pflanzengruppen ganz besonders zur Anhäufung von Kieselsäure in ihren Geweben geneigt. So zeichnen sich die Gräser durch den Silicium-

*) Ein solcher Fall ist durch G. Thoms konstatiert im Teakholz, in welchem Konkretionen von Bicalciumphosphat auftreten u. wohl auf grossen Phosphorreichtum des Bodens weisen. Vergl. Landw. Versuchsst., 23, p. 68.

**) Nur in seltenen Fällen scheint Kieselsäure ausserhalb der Zellhaut im Pflanzengewebe aufzutreten. Vergl. J. Sachs: Handb. d. Exp.-Phys. d. Pfl., p. 153.

***) Der Kieselsäuregehalt mancher diese Substanz aufspeichernden Pflanzen nimmt in der That, wie Wittstein gezeigt hat, regelmässig mit dem Alter dieser Pflanzen zu; vergl. Johnson: Wie d. Feldfr. wachsen; deutsch 1871, p. 200.

†) Übrigens nicht ausschliesslich in den stark transpirierenden Teilen, sondern auch z. B. in den Bastfasern.

††) Vergl. Liebig: Die Chemie etc., 1862, I, p. 342–419. Auch Wicke: Journ. f. Landw., 1861, p. 157 und 1862, p. 157.

reichtum ihrer Asche aus. Das Stroh unserer Getreidearten enthält im Durchschnitt etwa 6 % Asche, wovon die Hälfte Kieselsäure ist, und die Spreu dieser Gewächse ist noch weit reicher daran. Ebenso ist das Bambusrohr ausserordentlich reich an Kieselsäure und zeigt in seinen Knoten häufig feuersteinartige Konkretionen dieser Verbindung. Noch mehr Silicium enthalten die Schachtelhalme mit etwa 20 % Asche, deren Hälfte als Kieselsäure angesprochen werden darf. Daher grosse Härte und Verwendung des gewöhnlichen Schachtelhalms *(Equisetum hiemale)* als Poliermittel. Aber auch gewisse niedrige chlorophyllhaltige Pflanzen, einzellige Algen, Diatomeen genannt, enthalten grosse Mengen von Kieselsäure der Zellhaut eingelagert. Man kann diese niedlichen Gebilde, die gewöhnlich als Probeobjekte für feinere Mikroskope gebraucht werden, diese Navicula, Eunotia, Fragilaria, Synedra, und wie sie alle heissen mögen, der Glühhitze aussetzen und einäschern, ohne dass sie im wesentlichen ihre Form verändern. Auch gelingt dieser Versuch bei den Spelzen der Gerste und den Equisetumstengeln. Es bleibt ein Aschenskelett übrig, das fast ganz aus Kieselsäure zu bestehen scheint und noch so vollkommen dem zerstörten Organismus gleicht, dass man die feine Zeichnung, welche die Zellhaut solcher Gewebe durchgehends charakterisiert, noch mit derselben Klarheit wie vorher erkennen kann. Die ausgedehnten Ablagerungen von Kieselsäure, die Kieselguhr, Tripel und Polierschiefer genannt werden, bestehen wesentlich aus den unverweslichen Teilen von Diatomeen, früher auch als Infusorienpanzer bezeichnet*).

In geringeren Mengen findet sich nun die Kieselsäure auch in den Geweben fast aller übrigen unter natürlichen Verhältnissen gewachsenen Pflanzen mit grosser Regelmässigkeit, und man würde aus der Aschenanalyse allein wenigstens aller höheren Pflanzen ganz unbedenklich auf die Unentbehrlichkeit dieses Bestandteils geschlossen haben, wie dies in der That auch früher sehr allgemein der Fall gewesen ist.

Als man nun die Frage nach der Bedeutung des Siliciums für das Pflanzenleben nach der synthetischen Methode in Angriff nahm, da zeigte sich unerwarteterweise, dass der Kieselsäure, die man den Nährstofflösungen zusetzte, jedenfalls nur eine untergeordnete Bedeutung zukäme. Während man früher neben Kalk- und Kalipflanzen von *Kieselpflanzen* gesprochen hatte und unter dieser Bezeichnung Gewächse verstand, die einen erheblichen Reichtum an assimilierbaren Silikaten im Boden voraussetzen**), fand man jetzt, dass es vortrefflich gelang, verschiedene unter gewöhnlichen Umständen sehr siliciumreiche Pflanzen in Nährstofflösungen zu erziehen, die gar keine Spur von Kieselsäure enthielten, ohne dass die Ausbildung der so gezogenen Pflanzen irgendwelche Anomalien zeigte; und wenn es auf diese Weise auch nicht *vollständig* gelang, das Silicium auszuschliessen, da eine geringe Menge aus dem Samen und namentlich aus den gläsernen Gefässwandungen in die sich entwickelnde Pflanze gelangen konnte, so war doch die Verminderung des Siliciumgehalts gegenüber jenem, der in den gewöhnlichen Pflanzen gleicher Art regelmässig

*) Ein Verzeichnis sehr kieselreicher Pflanzenaschen bei Göbel: Agrikulturchemie, 1858, p. 104.

**) Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung etc., 1862, I, p. 212 u. ff., besonders p. 216.

gefunden wird, so bedeutend, der noch bleibende Rest so gering, dass auf eine völlige Entbehrlichkeit des Siliciums für viele unserer kieselreichsten höheren Gewächse geschlossen werden durfte. So gelang es mit Hilfe der Wasserkultur, normal gebildete Maispflanzen zu erziehen, deren Asche nicht ein Prozent Kieselsäure*) enthielt, während man unter gewöhnlichen Ernährungsverhältnissen durchschnittlich etwa 20% Kieselsäure in der Asche der genannten Pflanze findet. Ganz dieselben Resultate hat man für noch siliciumreichere Gramineen, für Weizen, Hafer und Gerste**), erhalten, und so scheint der Satz von der Entbehrlichkeit des in Rede stehenden Grundstoffs wenigstens für die höheren Pflanzen ein ziemlich allgemeiner zu sein***).

Solange man an die Unentbehrlichkeit des Siliciums für die Gramineen glaubte, war eine Theorie über die Art und Weise von dessen Nützlichkeit gang und gäbe, die natürlich mit dem Beweise der Entbehrlichkeit, welcher für viele Pflanzen wenigstens mit grosser Wahrscheinlichkeit geliefert ist, als unhaltbar fallen gelassen werden musste. Es ist dies die zuerst von H. Davy ausgesprochene Theorie†), dass die in das Gewebe der Halme eingelagerte Kieselsäure die Festigkeit dieser in einer Weise bedinge, so dass z. B. das Fehlen dieses mineralischen Bestandteils die Ursache der Bildung von Lagergetreide sei. Bei der Aufstellung derselben wurde freilich von vornherein übersehen, dass nicht die tragenden Halme, sondern die Blätter der Gramineen besonders kieselreich sind.

Ich habe vorhin gesagt, dass jene künstlich erzielten, so ausserordentlich kieselarmen Pflanzen von normaler Bildung gewesen seien. Es schliesst diese Behauptung die Eigenschaft der gewöhnlichen Festigkeit der Halme in sich ein, und es ist somit gleichzeitig erwiesen, dass die genannte Theorie von der Bedeutung der Kieselsäure eine unrichtige ist. Wir wissen vielmehr jetzt — und dies ist für die Praxis von grosser Wichtigkeit — mit Bestimmtheit, dass das Lagern des Getreides die Folge einer gewissen Vergeilung der Stengelglieder ist, die bei zu dichtem Stand und üppiger, namentlich stickstoffreicher Ernährung eintritt, und ebensogut bei Reichtum der Halme an Kieselsäure eintreten kann. Die reiche Ernährung allein bringt freilich kein Lagern der Halme hervor; ein einzeln stehender Halm lagert auch bei reicher Düngung nicht, und eine durch Drillkultur in genügendem Abstand gehaltene Saat selten. Bei engerm Stand erhalten aber die einzelnen Pflanzen zu wenig Licht;

*) J. Sachs: Handbuch d. Experim.-Phys. d. Pfl., p. 151.

**) Knop: Kreislauf des Stoffs, I, p. 221.

***) Ob die Schachtelhalme der Kieselsäure entbehren können, ist ungewiss; ob die Kieselpanzer, die Diatomeen, dies können, natürlich ziemlich unwahrscheinlich; erwiesen dagegen für manche Pilze, deren Analyse auch häufig die Abwesenheit von Silicium zeigt. — Andere Experimentatoren haben freilich hiervon abweichende Schlüsse gemacht. Vergl. Rautenberg und G. Kühn: Landw. Versuchsst., 1864, p. 359, u. Heiden: Düngerlehre, I, p. 200.

†) Vergl. z. B. Rochleder: Phytochemie, 1854, p. 388; Wicke: Journ. f. Landw., 1861, p. 164; ebenso an vielen andern Orten. — Eine andere Theorie der Nützlichkeit des Siliciums schien durch die Zöller'sche Beobachtung einer gewissen Proportionalität zwischen diesem Elemente und dem Zellstoffgehalt von Gerstenkörnern angedeutet; vergl. v. Seilern: Pflanzenernährungsstoffe, p. 90.

es tritt eine Streckung namentlich der zurückgebliebenen Halme infolge des Lichtmangels ein, daher die gleiche Höhe der einzelnen nebeneinanderstehenden Pflanzen, die durch die reiche Ernährung unterstützt wird, und so fehlt es, wie an allen unmässig in die Höhe geeilten Trieben, an der gehörigen Festigkeit. Ausserdem wirken grosse Boden- und namentlich Luftfeuchtigkeit auf die Konstitution der unter diesen Umständen gewachsenen Pflanzen. Steht viel Wasser zur Verfügung, so wird auch viel in das Gewebe eingelagert, selbstverständlich zum Nachteile der Festigkeit desselben*). Die Mittel, welche gegen Lagern angewandt werden, ergeben sich hieraus von selbst.

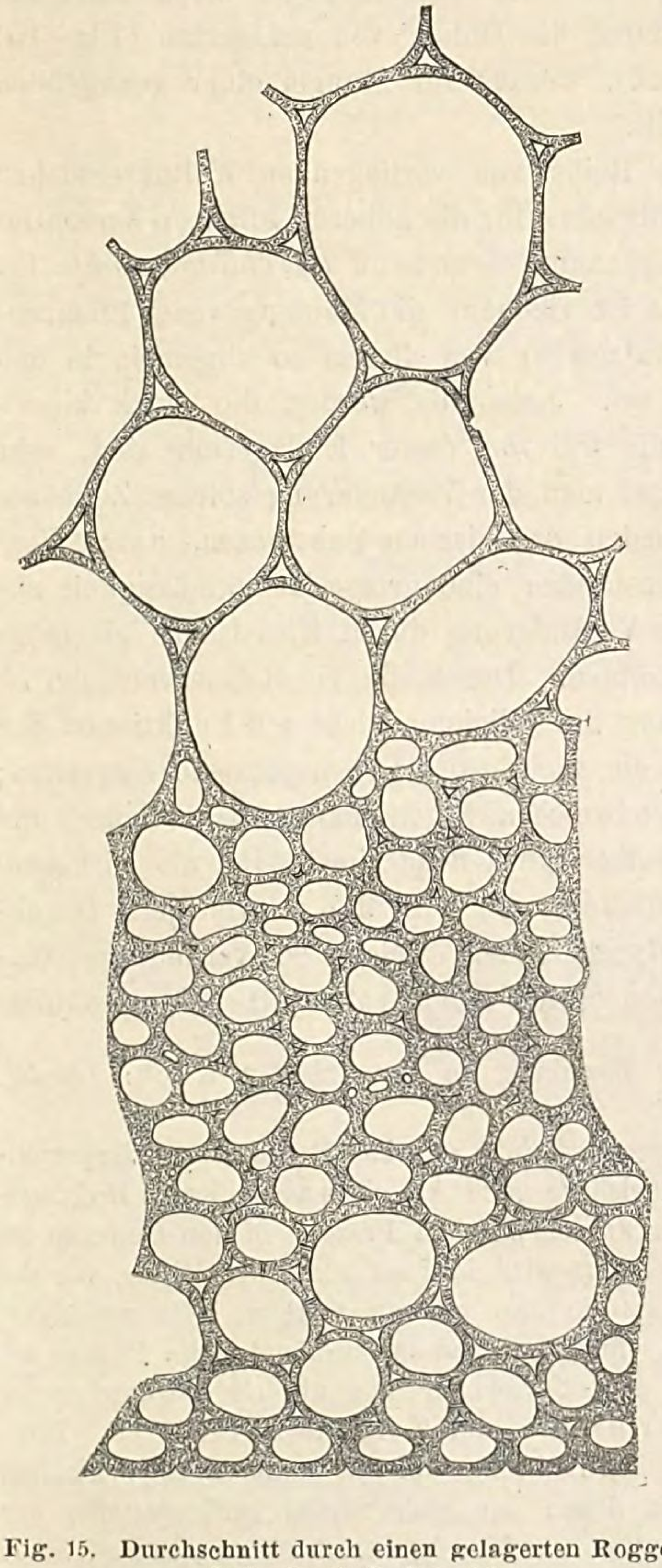


Fig. 15. Durchschnitt durch einen gelagerten Roggenhalm [nach L. Koch].

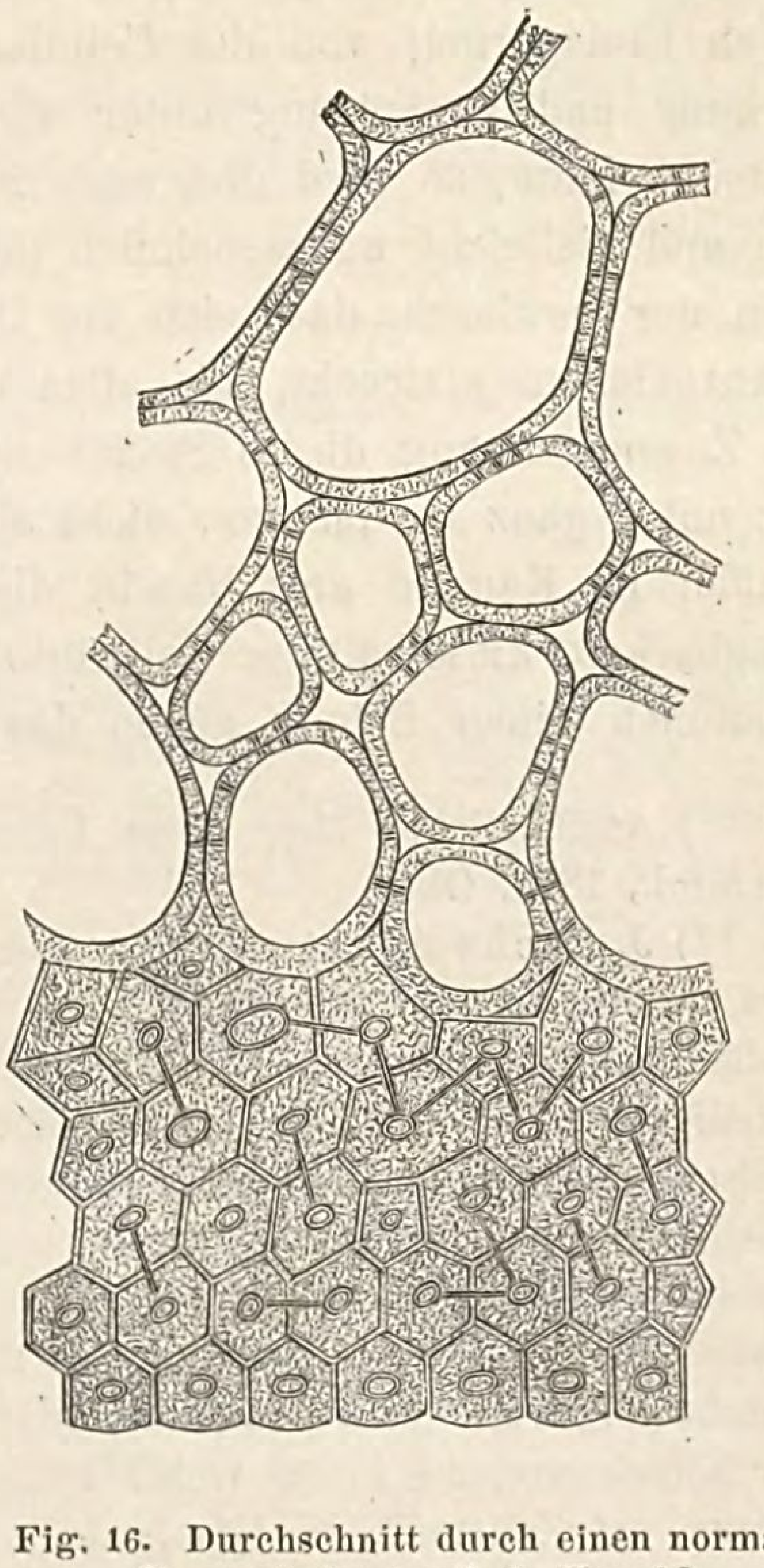


Fig. 16. Durchschnitt durch einen normalen Roggenhalm [nach L. Koch].

— Auf das gleiche Verhalten (eine mässige Etiolierung) infolge von Lichtmangel lässt sich die Erfahrung zurückführen, dass z. B. der Futtermais bei

*) Vergl. C. Kraus: Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, 1890, p. 252; 1891, p. 96. Daselbst vollständige Zusammenstellung der Litteratur.

dichtem Bestand zarter bleibt, weniger verholzt als bei dünner Aussaat — eine Thatsache von bedeutender praktischer Wichtigkeit*). Ebenso hat man es bei der Kultur der Gespinstpflanzen in der Hand, durch dichteren oder engeren Stand die Feinheit der Faser zu regulieren. Mehr als diese Ausführungen noch lehrt ein Blick auf die beigefügten Querschnitte durch die Halme von gelagerten (Fig. 15) und von stehenden Getreidehalmen (Fig. 16), woraus der Mangel einer genügenden Verdickung im ersteren Falle sofort erhellt.

Wenn wir auf Grund einer grossen Reihe von vorliegenden Kulturversuchen zur Behauptung der *Entbehrlichkeit* des Siliciums für die höheren Pflanzen berechtigt sind, so ist hierin die Meinung, dass der genannte Grundstoff *durchaus unnütz* für die Pflanzen sei, *nicht ausgesprochen*. Es ist vielmehr die Meinung vieler Pflanzenphysiologen, dass dennoch ein gewisser Nutzen**) von diesem so allgemein in den Pflanzen verbreiteten Stoffe anzunehmen sei. Jedenfalls werden die stark kieselhaltigen Zellhäute gegenüber denjenigen, die frei von dieser Einlagerung sind, sehr veränderte Eigenschaften zeigen, und so gut man der Veränderung solcher Zellhäute durch Einlagerung von der Cellulose fremden organischen Substanzen, durch Verkorkung und Verholzung unter vielen Umständen eine grosse Zweckmässigkeit zugestehen kann, so wird dies auch für eine Veränderung durch Kieselsäure als möglich und vielleicht wahrscheinlich gelten können. Durch die Vegetationsversuche ist eben nur bewiesen, dass sich die Bedeutung des Siliciums nicht auf Funktionen des Pflanzenlebens erstreckt, die allzu tief in die wichtigsten Lebensprozesse eingreifen; ein Zusammenhang dieses Stoffes mit irgendwelchen Eigenschaften der Pflanze, die nur unter ganz bestimmten, nicht allzu häufig eintretenden Umständen als wirksame Waffen im Kampfe ums Dasein dienen können, wie z. B. die schwierigere Durchdringbarkeit kieselhaltiger Zellhäute für Mycelienfäden, welche so veränderten Gewebeteilen einen Schutz gegen das Befallen durch Schmarotzerpilze***) gewähren

*) Ausführliches über diese interessante Beziehung in der Arbeit v. Koch: Landw. Centralbl., 1872, Okt.

**) J. Sachs drückt sich über diesen Gegenstand (p. 150 seines Handbuchs d. Experim.-Phys. d. Pfl.) so aus: es scheine, „dass die Kieselsäure nach Art eines assimilierten Bildungs-„stoffes benutzt wird, dass sie, ohne sich weiter am chemischen Prozess in den Geweben zu „beteiligen, in die Substanz der Zellhäute eingelagert wird in ganz ähnlicher Weise, wie die „Zellstoffmoleküle selbst eingelagert werden, dass sie also wie ein fertiger, bildungsfähiger, „plastischer Stoff von der Pflanze benutzt wird, ohne dass man sagen könnte, die Pflanze sei „absolut an diese Mitwirkung gebunden; sie scheint vielmehr nur als ein begünstigendes „Moment sich an der Vollendung des molekularen Baues der Zellhäute zu beteiligen. Diese „Anschauungsweise wird unterstützt durch die Betrachtung der molekularen Eigenschaften „der Kieselsäure, die in so vielen Punkten mit denen der assimilierten Bildungsstoffe, der „Stärke, des Zellstoffs, der Eiweissstoffe übereinstimmen. Man könnte also sagen, es sind nicht „die chemischen Affinitäten der Kieselsäure, wodurch sie sich in der Pflanze nützlich macht, „sondern ihre molekularen Eigenschaften, ihre Beziehungen zur Löslichkeit, zu den Aggregat-„zuständen im allgemeinen, zur Diffusion u. s. w.“, worin, wenn auch nur andeutungsweise, die Ansicht von der Nützlichkeit der Kieselsäure ausgesprochen wird.

***) Wie ein solches Verhalten wohl behauptet worden ist (vergl. schon Davy: Agrikultur-Chemie, p. 203, u. Knop: Kreislauf des Stoffs, I, p. 221). Später sind derartige Andeutungen wiederholt worden.

würde, wäre immerhin denkbar und ist nicht unwahrscheinlich. Auch wäre eine gewisse Steifheit der Blätter bei den Unbilden, welche die schmalgliedrigen Gräser im Freien bei Wind und Wetter auszuhalten haben, keine ganz unnütze Eigenschaft.

Hauptsächlich aber hat man in neuerer Zeit darauf hingewiesen, dass durch Verkieselung harte Pflanzen — ganz ähnlich wie sie durch die Verwundungen, die sie bewirken, die Menschen vom Abpflücken zurückschrecken — durch diese Eigenschaften vor dem Insektenfrasse und namentlich dem der Schnecken häufig sehr gut geschützt sind. Es wäre also demnach die Einlagerung dieses Bestandteils als eine gute Waffe im Kampfe ums Dasein anzusehen*).

Die Aufnahme des Siliciums durch die Pflanze geschieht wie die der schon behandelten Metalloïde immer in hochoxydierter Form als freie Kieselsäure, in deren löslicher Modifikation, vielleicht auch als kieselsaure Salze**). Die Basen dieser Salze sind die schon genannten, soweit sie in Wasser oder kohlensäurehaltigem Wasser lösliche Silikate zu bilden vermögen. Ferner sind zweifellos die Humusbestandteile des Bodens stark an der Überführung der Kieselsäure in die Pflanze beteiligt***).

Noch ein viertes Metalloïd hatten wir unter den mit grosser Regelmässigkeit in der höheren Pflanzenwelt auftretenden verzeichnet: das *Chlor*. Dasselbe wird in gar nicht unerheblichen Mengen, durchschnittlich wohl die des Schwefels übersteigend,

*) Vergl. in dieser Beziehung Kohl: Anat.-physiol. Untersuchungen der Kalksalze u. d. Kieselsäure, Marburg, 1889, p. 305.

**) Eine durchgreifende Veränderung ihrer chemischen Form, eine eigentliche Verarbeitung zu organischen Verbindungen scheint dabei nicht stattzufinden. Es kann angesichts der nachgewiesenen Existenz von Kieselverbindungen (vergl. Friedel u. Ladenburg: Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1869 und p. 11 dieses Lehrb.), die sich genau so zur Kieselsäure verhalten wie die sogenannten organischen Verbindungen zur Kohlensäure, also z. B. einer Kieseloxalsäure $Si_2H_2O_4$, die beim Verglimmen ein Kieselsäureskelett hinterlässt, ähnlich wie viele Zellhäute, freilich bezweifelt werden, ob eine solche Annahme gerechtfertigt ist, ob nicht möglicherweise die Kieselsäure im Pflanzenorganismus in ähnlicher Weise wie die Kohlensäure, wenn auch indirekt durch schon gebildete organische Substanz reduziert wird, oder mit dem Kohlenstoff zusammen komplizierte organische Verbindungen nach dem Muster von schon künstlich dargestellten (wie z. B. die Silicium-Propionsäure) bildet; denn wir besitzen keine oder nur wenige experimentelle Anhaltspunkte — als solche könnte vielleicht die vollständige Verkieselung mancher Pflanzenteile, die bis zur wahren Versteinerung fortgeht, angesehen werden, wobei man es mit wirklicher Kieselsäure zu thun hat (vergl. über die Verkieselung der Cautorinde J. Sachs: Handbuch d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 153; Wicke: Journ. f. Landw., 1861, p. 161) — die gegen die letztere Vermutung sprechen, und es wird bis zur Auffindung sehr charakteristischer Reaktionen der „organischen Kieselverbindungen", sit venia verbo, auch unmöglich bleiben, solche geltend zu machen. Alle Bestrebungen freilich, das Vorkommen solcher Verbindungen in den Pflanzen nachzuweisen, sind bis jetzt vergeblich geblieben.

***) Die Untersuchungen Vogel's (S. 2, Ber. d. k. bayerischen Akad. d. Wissensch., 1870, II, p. 300) lehren, dass der Kieselsäuregehalt der meisten Pflanzen mit dem Reichtum des Bodens, auf dem sie gewachsen, an Humussubstanzen parallel gehe, und dass dies vermutlich auf dem Lösungsvermögen gewisser Ammoniakverbindungen der Humussubstanzen für Kieselsäure beruhe. Vergl. auch Eggertz: Forsch. a. d. Geb. d. Agrik.-Physik, 1889, p. 248.

in den Pflanzen angetroffen, jedoch in wechselnderen Mengen als dieser. Manche Pflanzen, wie namentlich die Blätter vieler Gemüsepflanzen, enthalten oft verhältnismässig grosse Mengen.

Viele angestellten Kulturversuche schienen zunächst für das Chlor etwas ganz Ähnliches zu ergeben wie für das Silicium. In den meisten Fällen wurde durch Ausschliessung dieses Grundstoffs aus der Nährstofflösung keine erhebliche Änderung in der Ausbildung der Gewächse bemerkt. Dieselben gediehen nach wie vor in völlig normaler Weise.

Was wir über die durchgängige Entbehrlichkeit des Chlors für höhere chlorophyllhaltige Gewächse ausgesagt haben, scheint sich sogar auf die am Meeresstrand wachsenden und unter gewöhnlichen Umständen reichlich mit Chlor versorgten Pflanzen*) zu beziehen. Nachgewiesen wurde dieser Sachverhalt allerdings nur an einer Pflanze, die nicht ausschliesslich auf Salzboden wächst, am Strandhafer *(Psamma arenaria)*, dessen Samen ausserdem vielleicht zu grosse Mengen von Chlor**) enthalten, um die Annahme einer hinreichenden Verdünnung durch die Kultur zuzulassen. Salzpflanzen sind überhaupt nicht solche, die Chlornatrium nötig haben, sondern die, welche den Kampf ums Dasein, bei Überfluss an diesem Bestandteil, glücklich bestehen, und hierfür kann ebensogut entscheidend sein, dass sie besser als andere sonst übermächtige Konkurrenten eine Imprägnierung mit demselben ertragen.

Dagegen liegt eine Reihe von vortrefflichen und sich in ihren Resultaten vollständig bestätigenden Untersuchungen***) vor, nach denen gewisse Pflanzen — erwiesen wurde der Sachverhalt für die Buchweizenpflanze — ihre Fruchtbildung nicht zu vollziehen vermögen, wenn Chlor in den Nährstofflösungen fehlt.

Interessant aber für dieses Verhalten ist, dass es Nobbe†) dabei gelungen ist, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Unentbehrlichkeit des Chlors in seinen Ursachen aufzuklären, d. h. mit andern Worten die Funktion zu entdecken, die das Chlor in der Pflanze zu vollziehen pflegt. Der genannte Forscher hat die grünen Organe der mit Ausschluss von Chlor erzogenen Buchweizenpflanzen so strotzend voll Stärkekörner gefunden, dass man mit Jodlösungen die betreffenden Gewebestücke tiefblau — für das blosse Auge leicht erkenntlich — färben konnte, während normale grüne Pflanzenteile unter denselben Umständen nur gelblich oder bräunlich werden, weil eben die Stärkekörner unter gewöhnlichen Umständen so zurücktreten, dass ihre Färbung durch Jod nicht überwiegt. Derselbe schliesst nun aus diesem Verhalten, dass wegen des Mangels an Chlor dem Stärkemehl die Wanderungsfähigkeit fast vollständig genommen sei, dass also etwa nur die chlorhaltige (genauer, wie später noch deutlicher erhellen wird, die chlorkaliumhaltige) Zellflüssigkeit die Fähigkeit habe, die Stärkekörner in der Weise zu lösen, wie es zu deren Wanderung not-

*) Vergl. Knop: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., 1869, Separatabdruck, p. 19.

**) Vergl. ebenda, p. 25.

***) Nobbe u. Siegert: Landw. Versuchsst., 1863, p. 116; 1864, p. 108; Nobbe: ebenda 1865, p. 371; Leydhecker: ebenda 1866, p. 177, u. Beyer: ebenda, p. 263.

†) Ebenda 1865, p. 379—386, u. B. XIII, p. 399.

wendig ist, und ist geneigt, anzunehmen, dass das von ihm beobachtete Fehlschlagen der Blüten nur eine sekundäre Erscheinung sei, indem dieselben unter den bezeichneten Umständen nicht genügende Mengen von durch die Blätter assimilierter organischer Substanz zugeführt erhalten*).

In diesem interessanten Verhalten kann leicht eine Ursache gefunden werden, warum nach den Versuchen anderer**) das Chlor als ein völlig entbehrlicher Stoff für viele höheren Pflanzen und selbst für die Buchweizenpflanze hingestellt wird, woraus doch zum mindesten, wenn man den geringen Chlorgehalt der Samen in Rechnung ziehen will, hervorgeht, dass sehr geringe Spuren von Chlor unter Umständen genügen. Es ist offenbar gar leicht möglich, dass die Pflanzen nur unter gewissen Verhältnissen notwendig der Unterstützung der Translokation der organischen Substanz bedürfen, dass dagegen viele Pflanzen in anderen Fällen dieser Unterstützung der Wanderung der plastischen Substanz durch das Chlor entraten können. Selbst die Mischung und chemische Form der übrigen Nährstoffe, aber auch manche anderen Verschiedenheiten werden dahin wirken können, dass eine solche Unterstützung entbehrt werden kann oder notwendig in Anspruch genommen werden muss; und so ist es denkbar, dass die einander anscheinend widersprechenden experimentellen Resultate in Einklang zu bringen sind.

Jedenfalls geht aus der vorgetragenen Sachlage hervor, dass das Chlor nicht in dem Sinne wie Phosphor und Schwefel unter die unentbehrlichen Aschenbestandteile der höheren Pflanzen zu rechnen ist, sondern nur unter die unter Umständen nützlichen. Dasselbe steht jedenfalls nicht zu schlechthin notwendigen physiologischen Vorgängen in absolut unabänderlichen Beziehungen, wie wir dies vernünftigerweise für einen jeden durchweg unentbehrlichen Stoff annehmen müssen. Allein ebenso gewiss ist das Bestehen einer Beziehung des fraglichen Aschenbestandteils zu gewissen physiologischen Funktionen, an denen er wenigtens fakultativ mitwirkt.

Ich kann nicht genug darauf aufmerksam machen, auf was in letzter Linie Unentbehrlichkeit und Nützlichkeit eines Bestandteils für irgend einen Organismus hinauslaufen, wie dies in unserer bisherigen Darstellung schon hie und da andeutungsweise geschehen ist. Man hat sich gar zu häufig damit begnügt, in mechanischer Weise von notwendigen und von nicht notwendigen Bestandteilen zu reden, ohne

*) Die ganz ungewöhnlich starke Stärkeproduktion einer durch Hemmung der Transpiration in der Chloraufnahme sehr wesentlich beschränkten Tabakpflanze lässt sich vielleicht auf denselben Gesichtspunkt zurückführen. Vergl. Schlösing: Compt. rend., T. 69, p. 353, oder Landw. Centralbl., 1870, I, p. 145.

Der Grund der in Rede stehenden Einwirkung von Chloriden ist noch nicht aufgehellt. Bei einem Versuche in dieser Richtung wären die Resultate Nasse's zu berücksichtigen, welcher die beschleunigenden und verzögernden Wirkungen von vielen Salzen auf Enzymprozesse — und ein solcher ist bei der Wanderung der Stärke ja mit im Spiele (vergl. die sechste Vorlesung) — studierte. Pflüger's Archiv, 1875, B. 11, p. 138. Vergl. auch Ad. Mayer: Enzymologie, p. 79.

**) Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs, I, p. 615 u. 616, und namentlich: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch., 1869, Separatabdr., p. 14. — Versuche, die sich übrigens in der Ausführung nicht mit den Nobbe'schen messen können. Vergl. übrigens auch Nobbe: Landw. Versuchsst., B. XIII, p. 396 Anm.

dabei zu überlegen, dass ein im allgemeinen unnützer Bestandteil unter besonderen Ernährungsverhältnissen ein nützlicher, vielleicht gar unentbehrlicher und ebenso ein meistens nützlicher unter Umständen zu einem ganz unentbehrlichen werden kann. Es ist leicht zu erkennen, wie eine Theorie der Wirksamkeit der Aschenbestandteile im Organismus uns zwingt, jene in der Gedankenlosigkeit gezogenen Gruppen als etwas Feststehendes anzuzweifeln. — Die Besprechung der Wirksamkeit des Chlors im Pflanzenorganismus giebt die beste Gelegenheit zum nochmaligen Hinweis auf diese Verhältnisse.

Für die niedrigen pflanzlichen Organismen, namentlich die chlorophylllosen, scheint nach dem freilich sehr sparsam vorliegenden Untersuchungsmaterial das Chlor keine Bedeutung zu haben; es ist sogar dieser Stoff häufig in der Asche solcher Organismen nicht aufgefunden worden. Für die höheren Tiere dagegen bekanntlich ist die Aufnahme chlorhaltiger Nährstoffe (Kochsalz) zur Existenz notwendig; daher die Pflanzenfresser dieses Salz, das sie in ihrer Nahrung nicht genügend vorfinden, besonders aufsuchen und auch für den Menschen dasselbe das einzige ist, welches er als solches zu seiner Nahrung regelmässig zusetzt.

Die chemische Form, in welcher das Chlor von der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze wie von allen andern Organismen aufgenommen wird, ist die Chlorverbindung irgend einer der schon früher genannten für die Pflanze unschädlichen Metalle, also: Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorammonium, Chlormagnesium, Chlorcalcium. Doch sind die beiden letzteren in irgend erheblicheren Mengen und mit ihnen auch alle Nährstofflösungen und Nährböden, in denen Veranlassung zur Entstehung dieser Verbindungen gegeben ist, für das Pflanzenleben schädlich*), sei es wegen ihrer wasseranziehenden Kraft, sei es, weil die Pflanze gerade aus diesen Salzen unter Assimilierung der Base leicht grosse Mengen von Salzsäure abspaltet, die der Wurzel Schaden bringt, oder aus irgend einem andern Grunde; und auch das Chlorammonium ist aus dem Grunde, dass Ammoniak in grossen Mengen behufs Bildung der Eiweissstoffe verarbeitet wird und Salzsäure dann übrigbleibt, eine wenig geeignete Form. Weder das freie Chlor, noch die Oxydationsstufen dieses Stoffes, mit oder ohne Verbindung mit Basen, werden von der Pflanze ertragen**).

In derselben Form nun, als neutral reagierendes Chlorid, scheint dieser Grundstoff nach der Aufnahme in der Pflanze zu verharren, wenn natürlich auch häufig ein Wechsel des an ihn gefesselten Metalls eintreten wird. Eine Verarbeitung desselben unter irgend welchen Umständen zu organischen chlorhaltigen Verbindungen ist jedenfalls höchst unwahrscheinlich. Effloreszenzen von Chlormetallen (Chlorkalium z. B.) sind häufig an mit Salzen übersättigten Pflanzenteilen beobachtet worden. Es ist hier nur vielleicht die eben erwähnte Spaltung der Chloride, z. B.

*) Vergl. übrigens die etwas abweichenden Erfahrungen: Landw. Versuchsst., 1863, p. 119, und die erhebliche Einschränkung des Satzes durch Märcker: Die Kalisalze etc., 1880.

**) Dass freies Chlor die Keimung begünstige, ist eine Beobachtung, die wir A. v. Humboldt verdanken (vergl. Boussingault: Die Landwirtschaft etc., deutsch von Gräger, I, p. 32) und die, insofern sie genau ist, wohl auf die Beförderung der Oxydation bei der Keimung zurückgeführt werden muss. Vergl. indessen die Kritik von Nobbe: Handb. der Samenkunde, 1876, p. 225.

des Salmiaks in eine Basis, die weiter verarbeitet wird, und Salzsäure, die in der Umgebung der Wurzel nachgewiesen werden kann, zu nennen; dieselbe erfolgt aber in grösseren Verhältnissen nur unter künstlichen Ernährungsverhältnissen*).

Hiermit wäre das Allgemeinste, was durch die Kulturversuche über die Bedeutung des Chlors für das Pflanzenleben an den Tag gekommen ist, mitgeteilt. Es liegen indessen noch Beobachtungen aus der landwirtschaftlichen Praxis vor, aus denen sich noch weitere eigentümliche Wirkungen der Chloride auf die Produktionsrichtung der Pflanzen ergeben, was hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden darf, zumal da es gelungen scheint, die ermittelten Erscheinungen teilweise mit schon besprochenen physiologischen Vorgängen in Beziehung zu bringen.

Man drückt sich, um die beobachteten Thatsachen in einfachster Weise zu bezeichnen, gewöhnlich so aus, dass man sagt: chlorhaltige Düngungen vermehrten bei einigen Feldfrüchten, wie bei Zuckerrüben und Kartoffeln, zwar den quantitativen Ertrag, verminderten aber gleichzeitig die Qualität der produzierten Ernte. Wenn wir uns nun näher nach der Art der Qualitätsverminderung erkundigen, so erfahren wir, dass bei reichlicher Chlorzufuhr die Rüben zucker-, die Kartoffeln stärkeärmer**) gefunden werden, dass mit einem Worte unter diesen Umständen die betreffenden Reservestoffbehälter weniger wohlgefüllt mit Kohlenhydraten erscheinen. Daneben kann natürlich eine Chlordüngung, die entweder in Form von Chlorcalcium oder Chlormagnesium oder so gegeben wird, dass diese Stoffe leicht durch Umsetzungen in der Ackererde Entstehung nehmen, die erwähnten schädlichen Wirkungen auf das Pflanzenleben ausüben, und dies wird unter Umständen auch in der landwirtschaftlichen Praxis — obschon die Sache arg übertrieben worden ist — in der Form eines Mindererträgnisses wahrgenommen.

Die erst angedeutete Beziehung einer starken Chlorzufuhr zu jener eigentümlichen Richtung der Pflanzenproduktion ist interessant genug, um hier etwas ausführlicher besprochen zu werden. Die früher auf Grund experimenteller Erfahrungen gemachte Annahme der Fähigkeit von Chlorverbindungen, die Wanderung der produzierten organischen Substanz zu begünstigen, würde allerdings insofern eine Steigerung der Gesamtproduktion bewirken können, als eine von der assimilierten organischen Substanz rechtzeitig entleerte chlorophyllhaltige Zelle wohl eher zur Produktion neuer organischer Substanz (von Stärkekörnern) geeigenschaftet sein wird als eine gefüllte. Auch der Mindergehalt an den Kohlenhydraten der Reservestoffbehälter würde sich auf diesem Wege einigermaassen erklären lassen, wenn man annimmt, dass die Gegenwart von Chloriden durch Begünstigung der Hydrolyse die Wanderungsform der Kohlenhydrate herbeiführe, eine Annahme, die durch die Nobbe'schen Erfahrungen an der Buchweizenpflanze bestätigt zu werden scheint. So wenig diese Andeutung

*) Vergl. die nächste Vorlesung.

**) Vergl. Kordel: Die Stassfurter Kalisalze etc., 1868, p. 9, und Heiden: Düngerlehre, B. II, p. 384. Kochsalzdüngung drückte nach vielen Versuchen auf verschiedenen Böden den Stärkegehalt der Kartoffeln auffallend herab. Ann. d. Landw., Monatsbl., 1871, X, XI, p. 175. Vergl. auch Journ. f. Landw., 1870, Jahresb., p. 118.

nun auch als eine genügend fundierte Theorie angesehen werden kann, so ist sie doch schon jetzt im mnemotechnischen Interesse, d. h. um die von ihr berührten Thatsachen besser behalten zu können, von unverkennbarem Werte.

Die schädliche Wirkung dagegen, die nach sehr vielen einander bestätigenden Beobachtungen*) die Chloride des Düngers und des Bodens auf die Eigenschaften des Tabaks ausüben, lässt sich teilweise auf ganz andere Gesichtspunkte zurückführen. Eine Tabakspflanze, die in einem an Chlor reichen Nährboden gewachsen ist, kann, was Üppigkeit und sonstige Zusammensetzung angeht, völlig normal sein, aber erzeugt fast unter allen Umständen Blätter, die einen hohen Grad von Unverbrennlichkeit oder besser Unverglimmbarkeit zeigen, bekanntlich eine sehr ungern gesehene Eigenschaft des Rauchtabaks, namentlich desjenigen, der zur Cigarrenfabrikation dient. Diese üble Eigenschaft ist nachgewiesenermaassen häufig eine Folge des hohen Chlorgehalts der Tabakblätter und kann auch künstlich hervorgebracht werden durch Imprägnieren der toten Blätter oder auch gewöhnlichen Papiers mit Chlorcalcium**). Erklärt wird diese unangenehme Folge des Chlorgehalts durch die Leichtschmelzbarkeit des Chlormagnesiums und Chlorcalciums, welche Salze man sich in den Blättern vorhanden denkt und die im geschmolzenen Zustande die Kohlenteilchen umhüllen und an der vollständigen Verbrennung verhindern sollen, oder auf eine andere Weise. Wir haben hier über die Stichhaltigkeit dieses Erklärungsversuchs kein Urteil abzugeben, da wir es in jener Eigenschaft der Chlorsalze nicht mit physiologischen Wirkungen zu thun haben.

Neben diesen Missständen, welche die reichliche Zuführung von Chlorverbindungen für die Tabakkultur mit sich bringt, und die freilich ganz anderer Natur sind als jene beim Rüben- und Kartoffelbau empfundenen, scheinen diese Stoffe auch beim Tabak eher auf grosse Erträgnisse hinzuwirken — eine Erscheinung, die aus demselben Gesichtspunkt wie dort ihre Erklärung finden muss, so dass auch hier schädliche und nützliche Wirkungen einander gegenüberstehen. In der landwirtschaftlichen Praxis hat man natürlich gegeneinander abzuwägen, ob man sich chlorhaltiger Düngemittel mit Vorteil bedienen kann oder nicht. In der Regel ist es nachteilig; doch sind die Gefahren namentlich für die Kartoffeln und Zuckerrüben manchmal sehr übertrieben worden.

*) Vergl. Schlösing: Compt. rend., 1860, I, p. 642, und deutlicher bei J. Nessler: Der Tabak etc., 1867, p. 41 u. ff. In entgegengesetzter Richtung wirkt der Gehalt an pflanzensaurem Kali; siehe a. a. O., p. 90.

**) Siehe J. Nessler: ebenda, p. 33, und Adolf Mayer: Landw. Versuchsst., B. 38, p. 127.

Achtzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. — Die Metalle der Pflanzenaschen.

Ausser den Metalloïden unter den Aschenbestandteilen, deren Bedeutung für das Pflanzenleben wir in der letzten Vorlesung besprochen haben, finden sich nun, wie angeführt, auch Metalle in den Pflanzenaschen. Es geht dies schon aus dem Umstande hervor, dass wir es in diesen Aschen mit salzartigen Gemischen zu thun haben, also mit einem Gemenge von Verbindungen, für die sowohl metallische und sogenannte metalloïdische Bestandteile charakteristisch sind. Damit ist nun freilich nicht gesagt, dass die Asche immer einen neutralen Charakter haben müsste. Es können vielmehr, wie in der Asche unserer Weizenkörner, die metalloïdischen Bestandteile dermaassen ins Übergewicht geraten, dass eine sehr saure Reaktion resultiert und umgekehrt, wie in den Weintrauben oder dem Tabak, die Metalle so vorherrschen, dass eine sehr basische Asche erhalten wird. In allen Aschen sind jedoch wesentlich auch salzartige Verbindungen mit fixen Säuren vorhanden, so dass man überall auf die Anwesenheit von Metallen sowohl, als von Metalloïden schliessen darf.

Wie wir bisher unser Augenmerk hauptsächlich auf die vier Metalloïde gerichtet haben, welche in allgemeinster Verbreitung in den Pflanzenaschen gefunden worden sind, so werden wir uns nun mit den fünf in der Pflanzenasche regelmässig vorkommenden Metallen zu beschäftigen haben. Wir können uns in Bezug auf diesen Gegenstand etwas kürzer fassen als bisher.

Gefunden wurden, wie wir erwähnt haben, mit fast ausnahmsloser Regelmässigkeit in den Aschen der verschiedensten höheren Pflanzen und Pflanzenteile: *Kalium*, *Natrium*, *Calcium*, *Magnesium* und *Eisen*.

Das *Kalium* ist noch in keiner Asche irgend einer Pflanze oder eines Pflanzenteils vermisst*) worden; doch kommt es in verschiedenen Pflanzen und Organen in sehr verschiedenen Mengen vor. Diejenigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, die es in grossen Massen in sich aufzuhäufen pflegen, sind wohl von anderen Gewächsen als *Kalipflanzen***) unterschieden und als solche besonders die Rüben und Kartoffeln bezeichnet worden. Will man sich zu dieser Bezeichnungsweise bequemen, so sind ausser den genannten jedenfalls noch der Weinstock, der Buchweizen, der Tabak, der Hopfen und vielleicht noch andere landwirtschaftliche Nutzpflanzen als Kalipflanzen zu bezeichnen.

Über die Verteilung des Kaliums in der Pflanze können einige Gesichtspunkte angegeben werden, aus denen auch dessen besondere Anhäufung in manchen

*) Die Angaben eines gegenteiligen Sachverhalts beziehen sich nur auf niedrige Pflanzenformen und sind noch nicht genügend belegt worden.

**) Liebig: Die Chemie etc., 1862, I, p. 212 u. ff.

Pflanzen erhellt. Doch ehe wir auf die physiologischen Funktionen dieses Aschenbestandteiles eingehen, auf welche wir durch jene Betrachtung unfehlbar würden geführt werden, wollen wir das Ergebnis der Kulturversuche ins Auge fassen und zusehen, was diese über die Entbehrlichkeit oder Unentbehrlichkeit des zu besprechenden Grundstoffs aussagen.

In Bezug auf die Unentbehrlichkeit des Kaliums für die Pflanzen besteht auf Grund sehr vieler Versuche ebensowenig eine Kontroverse wie für den Phosphor. Kein Versuch, bei dem alle Kalisalze vollständig ausgeschlossen oder auch nur sehr vermindert waren, hat eine normal gebildete Pflanze aufzuweisen gehabt. Doch ist das Ergebnis der einschlagenden Versuche vielleicht nicht immer ganz so schlagend gewesen und eine geringe Produktion von organischer Substanz erscheint unter diesen Umständen immerhin möglich*). Der so nachgewiesene Satz von der Unentbehrlichkeit des Kaliums scheint sich, wenn es auch nicht an einzelnen gegenteiligen Behauptungen fehlt**), bis auf die niedrigsten pflanzlichen Organismen zu erstrecken; und dass die tierischen Wesen dieses Elementarbestandteils nicht entbehren können, ist genugsam bekannt.

Wenn nun nach den physiologischen Funktionen des Kaliums in der Pflanze gefragt wird, um derentwillen dasselbe sich als absolut unentbehrlich für die Ausbildung jener erwiesen hat, so könnte man auf den Gedanken geraten, hier, wie auch schon in den früher behandelten Fällen, diese Funktion aus der Missbildung der Pflanze, die infolge des Ausschlusses dieses Nährstoffs sich zeigt, zu erschliessen. Man möchte um so eher auf diesen Gedanken verfallen, als bei einem der bereits besprochenen metalloïdischen Aschenbestandteile, beim Chlor, dieser Weg zu einem Ziele zu führen scheint. Die Vergleichung der Gestaltung und der Zusammensetzung einer im übrigen unter denselben Bedingungen gezogenen chlorfreien und chlorhaltigen Buchweizenpflanze hat uns ja eine gewisse Vorstellung von der Wirksamkeit des Chlors in dieser Pflanze gegeben.

Dennoch haben wir uns bei unseren früheren Betrachtungen über die Art der Wirksamkeit der andern schon behandelten Aschenbestandteile, dieser anscheinend so auf der Hand liegenden Methode, nicht oder nur im beschränktesten Maassstabe bedient. — Der Grund hierfür liegt in folgendem:

Diejenigen Aschenbestandteile, die nur gewisse Vorgänge in der Pflanze befördern, ohne zu unentbehrlichen Lebensprozessen in unabänderlicher Beziehung zu stehen, also auch unter manchen Umständen entbehrt werden mögen und so im allgemeinen den Namen *nützlicher Bestandteile* erhalten werden, können bei ihrer Ausschliessung nicht die gänzliche Niederlage der Vegetation zur Folge haben. Die ohne dieselben erzogene Pflanze wird in der Regel weniger gut gedeihen, aber es doch zu einer gewissen Entwickelung bringen und wird es so immerhin *möglich machen, den Effekt jenes Ausschlusses zu beobachten.*

*) Lüpke: Landw. Jahrb., 1888, p. 887.

**) Über Algen ohne Kalium vergl. Löw: Botan. Centralbl., 1891, p. 371, und über eine hierhergehörige Beobachtung Nägeli's bei Besprechung der Substitution der Aschenbestandteile in der 19. Vorlesung.

Wenn dagegen *ein Nährstoff* der Pflanze vorenthalten wird, *welcher die in einer jeden Zelle vor sich gehenden Lebensprozesse*, ohne deren Vollzug gar keine Weiterentwickelung in irgend einer Richtung auch nur denkbar ist, *notwendig vermittelt* — wenn der Pflanze gleichsam das tägliche Brot entzogen wird, so muss *notwendig in so frühen Entwickelungsstadien das Leben der Pflanze erlöschen*, dass es rein unmöglich ist, den Effekt des Ausschlusses anders auszudrücken, als dass man sagt, man habe es mit einem ganz unentbehrlichen, die einfachsten, sich täglich und stündlich wiederholenden Lebensvorgänge vermittelnden Stoffe zu thun, *ohne etwas von dessen näheren Funktionen angeben zu können.* Der Ausschluss eines derartigen Stoffes wird voraussichtlich so viele sekundäre Abnormitäten in seinem Gefolge haben, dass eine Beurteilung der Art der Wirksamkeit eines solchen Nährstoffs sich von selbst strenge verbietet.

Durch diese Betrachtung wird es einleuchtend, warum man es bei Behandlung aller der wichtigsten Aschenbestandteile nicht unternehmen konnte, hinter das Geheimnis ihrer Wirksamkeit (einfach durch die gewöhnlichen Kulturversuche mit Ausschluss des betreffenden Bestandteils) zu gelangen — ein Weg, der für die minder wichtigen einigen Vorteil verspricht. Deshalb konnte auch dieser so selbstverständlich erscheinende Weg nicht bei Beurteilung der Funktion des Schwefels und des Phosphors in der Pflanze betreten werden. Auf diese Leistung wurde vielmehr ein Schluss gemacht aus der Verteilung der genannten Elemente in der Pflanze und in den in dieser vorhandenen Bestandteilen, wodurch es für beide gelang, Beziehungen zu den Proteïnstoffen an den Tag zu legen.

Dieser Weg ist's, der uns auch für das Kalium allein übrig bleibt. Es ist nun eine Thatsache, dass das Kalium vorzüglich in den Gewebeteilen vorhanden ist, wo wir die Kohlenhydrate in Wanderung begriffen finden, in jenem sauer reagierenden Parenchymgewebe der Rinde und des Markes der höher organisierten Gewächse, während jene andern Gewebeteile, die gestreckten Zellen der Gefässbündel, in denen, der Meinung mehrerer Physiologen nach, die Fortleitung proteïnartiger Stoffe stattfindet, von Aschenbestandteilen vorzugsweise Phosphor enthalten. — Die Beziehung des Kaliums zu den Kohlenhydraten beschränkt sich jedoch nicht auf die in Wanderung begriffenen, sondern wie der Phosphor ein treuer Begleiter der eiweissartigen Stoffe ist, so treffen wir *überall*, wie Liebig zuerst mit Scharfblick, wiewohl mit einiger Übertreibung, hervorgehoben hat, die *Kohlenhydrate* mit dem *Kalium* vergesellschaftet.

Insbesondere haben neuerdings Nobbe und seine Mitarbeiter*) nachgewiesen, dass bei Ausschluss von Kali keine irgend erhebliche Produktion von organischer Substanz oder zunächst von Stärkemehl im Chlorophyll stattfinden kann, eine Entdeckung, die in völliger Übereinstimmung mit den bereits vorher bekannten Beziehungen dieser Nährstoffe steht. Durch die beistehenden von Nobbe herrührenden Abbildungen von Buchweizenpflanzen in Wasserkultur (Fig. 17), I mit Kali, II bei

*) Vergl. Landw. Versuchsst., B. XIII, p. 398 u. besonders p. 369.

Ausschluss von Kali, wird von der Bedeutung dieses Nährstoffs die augenscheinlichste Vorstellung gegeben.



Fig. 17. Buchweizen in Wasserkultur. I. mit Zufuhr von Kali als Chlorkalium. II. bei Ausschluss von Kali [nach Nobbe].

Auf den nämlichen Gesichtspunkt läuft nun in Wahrheit die vorhin mitgeteilte Thatsache des vorwiegenden Kalireichtums gewisser Pflanzen hinaus. Diese Pflanzen sind eben vorzugsweise solche, in denen grosse Mengen von Kohlenhydraten erzeugt und niedergelegt werden; wenigstens gilt dies für die Rüben, die Kartoffeln, den Weinstock. Aus derselben Thatsache folgt dann auch die Anhäufung des Kaliums in gewissen Pflanzenteilen.

Dies ist aber auch ungefähr unsere ganze Wissenschaft von der genannten Beziehung. — In welcher Weise die beiden Stoffe aneinander gebunden, auf welche Weise die Kaliumverbindungen die Produktion, Translokation und Niederlegung der Kohlenhydrate vermitteln, darüber ist ganz und gar nichts bekannt. Eine früher mit Glück vertretene, jetzt überholte Theorie der Art dieser Wirksamkeit, nach welcher das Kali dienen sollte, um die Pflanzensäuren zu binden, die als genetische Übergangsstufen zwischen dem höchst oxydierten anorganischen Rohmaterial jener Produktion und den Kohlenhydraten angesehen wurden, haben wir schon früher zurückzuweisen *) gehabt.

Es ist zweifelhaft, ob neben dieser Beziehung des Kaliums zu gewissen Funktionen in der Pflanze noch andere Beziehungen

*) Siehe die zehnte Vorlesung. Zu erwähnen ist übrigens noch, dass ältere grüne, aber noch assimilierende Blätter ziemlich kaliarm sind.

unterschieden werden müssen. De Saussure hat seiner Zeit die Bemerkung gemacht, dass der Reichtum eines Pflanzenteils an Kali mit der Energie seines Wachstums gleichen Schritt halte*). Diese Bemerkung ist durch die späteren Analysen vollauf bestätigt worden; allein vielleicht ist die Thatsache, welche diese Beobachtung ausdrückt, auf die gleiche Funktion, wie jene andere, zurückzuführen. Bei der Neubildung von Organen findet bekanntlich wesentlich Ablagerung von Cellulose statt, und diese ist nichts weiteres als ein Kohlenhydrat, mit deren Transport und Ausscheidung Kaliumverbindungen in genauer Beziehung stehen. Man könnte ebensogut den Reichtum solcher jungen sich entwickelnden Organe von energischer vegetativer Thätigkeit an Phosphor hervorheben, und doch ist dieser Phosphorgehalt selbstverständlich, da in solchen Organen auch stets ein lebenskräftiges proteïnreiches Protoplasma angetroffen wird. Ältere Organe, in denen die energischen Lebensvorgänge in den Hintergrund getreten sind, werden ebenso durchgehends auch arm an Kalium wie an Phosphor gefunden.

Was nun die chemischen Verbindungen betrifft, in denen Kalium in die Pflanze eintritt, so kann einfach gesagt werden, dass diese die Kalisalze derjenigen Säuren sind, die wir bisher schon als unschädlich, nützlich oder unentbehrlich für die Gewächse kennen gelernt haben, nämlich das salpetersaure Kali, das schwefelsaure, phosphorsaure, salzsaure und wohl auch das kieselsaure Kali. Das kohlensaure Kali dagegen kann wegen seiner stark alkalischen Eigenschaften als eine ganz unbrauchbare chemische Form der Kaliumaufnahme gelten, wie dies durch Vegetationsversuche hinreichend bewiesen**) wird.

In welchen verschiedenen chemischen Gestaltungen das Kalium dann in der Pflanze auftritt, und in welcher namentlich es seine eben angedeuteten Funktionen vollzieht, darüber ist bekannt, dass organische Kalisalze, vorzugsweise mit den Säuren: Oxalsäure, Weinsäure, Äpfelsäure und Citronensäure, eine ganz gewöhnliche Form des Vorkommens des Kaliums in der Pflanze sind. Neben diesen kommen dann aber auch noch anorganische Kalisalze vor, namentlich wenn diese im Übermaass der Pflanze zur Verfügung stehen, wie durch die Beobachtung von Auswitterungen solcher Salze sich ergiebt. Ob aber in einer dieser Formen das Kalium die Kohlenhydrate auf ihren verschiedenen Wanderungen durch den Organismus begleitet, darüber ist zur Zeit noch nichts mit Sicherheit auszusagen.

In Bezug auf die Eigenschaften, die ein hervorragender Kaligehalt einzelnen Kulturgewächsen zu erteilen vermag, will ich nur hier die erhöhte Verbrennlichkeit stark kalihaltiger Tabaksblätter***) erwähnen, namentlich wenn das Kali an Pflanzensäuren gebunden ist, so dass dieser Stoff in der erwähnten Hinsicht genau die entgegengesetzte Rolle spielt wie das Chlor. Eine ganz ähnliche entgegengesetzte Wirkung ergiebt sich aus dem vorhin Gesagten bezüglich des Gehalts der

*) Auf den Reichtum der Knoten des Getreides an Kalium hat Pierre hingewiesen (Annal. agronom., T. II, p. 59).

**) Vergl. Knop: Kreislauf des Stoffs, I, p. 602.

***) J. Nessler: Der Tabak etc., 1867, p. 33 u. ff.; Schlösing: Compt. rend., 1860, I, p. 642.

Rüben*) und Kartoffeln an Zucker und Stärkemehl, so dass das Kali in Bezug auf mehrere ganz verschiedene Gewächse gleichsam der qualitätsverschlechternden Wirkung des Chlors den Widerpart hält.

Das dem Kalium in vielen Eigenschaften so ähnliche *Natrium* findet sich qualitativ beinahe mit derselben Regelmässigkeit wie dieses in den Aschen der unter natürlichen Verhältnissen gewachsenen Pflanzen. Doch ist quantitativ sogleich ein auffallender Unterschied in dem Vorkommen dieser chemisch nahe verwandten Metalle in die Augen springend. — Das Natrium, im Boden von vielleicht durchschnittlich kaum geringerer Verbreitung wie das Kalium, findet sich in den Aschen von den auf diesem Boden gewachsenen Pflanzen in sehr viel kleineren Mengen als das eben besprochene Metall; und selbst die Pflanzen, die in einer Umgebung gewachsen sind, deren Natriumgehalt den Gehalt derselben an Kalium um das Vielfache übersteigt, wie im Meerwasser**) oder auf dem Meeresstrand, enthalten doch nahezu gleiche, in manchen Organen sogar viel grössere Mengen***) von Kalium. — Diese Thatsache an sich ist schon auffallend genug.

Dazu kommt, dass wir in Bezug auf die Verteilung des Natriums durch die einzelnen Pflanzenorgane fast bei allen Gewächsen keine Anhäufung dieses Grundstoffes an einzelnen Orten, sondern eine ziemlich gleichmässige Verbreitung desselben durch den ganzen Pflanzenleib beobachten (nur eine Konzentration in den transspirierenden Organen ist etwa nachzuweisen), — ein Verhalten, das dem Kalium lange nicht in dem Grade†) zukommt und von dem des Phosphors wohl am weitesten abweicht.

Dies Verhalten des Natriums, welches an das des Chlors erinnert, kann, zusammengehalten mit der Thatsache seines so sparsamen Vorkommens, dazu dienen, uns schon von vornherein, noch ohne die Resultate der betreffenden Kulturversuche zu kennen, eine Meinung von der Rolle zu bilden, welche dieser Grundstoff in der höheren Pflanze zu spielen befähigt ist, — und zwar keine allzu hohe Meinung.

Diese wird nun bestätigt durch die Ergebnisse der Kulturversuche bei völligem Ausschluss von Natrium. Es ist in den verschiedensten *natriumfreien Lösungsgemischen* gelungen, eine ganze Reihe der höheren Gewächse und namentlich solche von landwirtschaftlicher Nutzbarkeit nicht bloss fortzubringen, sondern in *normaler*

*) Vergl. u. a. Kohlrausch: Ökonom. Fortschr., 1870, p. 289 (daselbst auch Litteraturangaben über ähnliche Resultate) und Journ. f. Landw., 1870, Jahresber., p. 109, indessen auch Landw. Versuchsst., B. XIII, p. 324.

**) Im Salzrückstand des Meerwassers sind durchschnittlich auf 75 % Chlornatrium noch nicht 4 % Chlorkalium vorhanden, daneben noch geringe Mengen anderer Natriumverbindungen.

***) Vergl. die Analyse des entschälten Samens des Strandhafers von einem Schüler Knop's: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. der Wissensch., 1869, 6. Febr., p. 25, wo beinahe die 30fache Menge Kali gefunden ward; ferner Journ. f. Landw., 1864, p. 156; indessen auch die Analysen Göbel's von Hallophyten der caspischen Steppe (dessen Agrikulturchemie, 1858, p. 68), nach welchen in diesen Pflanzen der Natrongehalt bei weitem den Kaligehalt übersteigt, und Hilgard (Jahresb. Agrik.-Chemie, 1892, p. 183), welcher in der Asche von Sarcobatus vermiculatus 40 % Natron fand.

†) Vergl. J. Schröder: Landw. Versuchsst., 1868, p. 507.

Ausbildung und grosser Üppigkeit *zu kultivieren.* Diese Resultate müssen einen um so schlagenderen Beweis für die Entbehrlichkeit des Natriums als Bestandteils dieser Pflanzen liefern, als in den ausgelegten Samen meistens nur sehr geringe Mengen von diesem Grundstoffe sich vorfinden*). Es ist allerdings eingeworfen worden, dass nicht in allen Fällen durch die Analyse der erzielten Pflanzen der Beweis des vollständigen Ausschlusses des fraglichen Aschenbestandteils geliefert worden und eine zufällige Zuführung dieses letzteren durch den Staub und namentlich durch den Natriumgehalt der gläsernen Gefässwandungen immer möglich und wahrscheinlich sei. Dagegen ist wiederum zu erinnern, dass die Methode mit *absolutem Ausschluss* theoretisch gar nicht und für keinen im Samen enthaltenen Stoff möglich ist, dass, um einen solchen in dem verlangten Sinne zu einem absoluten zu machen, die Kultur in absolut reinem Material durch eine *unendlich grosse Zeit* mit immer neuer Verwendung des auf diese Weise erzeugten Samens notwendig wäre. — Der einzige Nachweis, der *möglich* erscheint, ist bei einer Anzahl von Gewächsen für die Entbehrlichkeit des Natrons mit nahe zureichender Schärfe beigebracht worden**).

Für diejenigen Pflanzen, welche bisher in vollkommen üppiger Weise bei genügendem Ausschluss des Natriums erzogen worden sind, wird nach den vorliegenden vergleichenden Versuchen das Natrium auch *nicht einmal als ein nützlicher Bestandteil* angesehen werden dürfen. Allein ich muss auch hier wieder darauf aufmerksam machen, dass es durchaus unthunlich ist, *diesen Schluss auszudehnen bis über Gebiete*, für die keine experimentellen Daten vorhanden sind. Es ist sehr leicht möglich — und der hohe Natrongehalt einzelner Pflanzen scheint schon darauf hinzudeuten***) —, dass manche Pflanzen des Natriums bedürftig sind oder doch Nutzen aus dem Gehalt an diesem Stoffe ziehen.

Was die Entbehrlichkeit des Natriums für andere als die chlorophyllhaltigen Organismen betrifft, so will ich der Vergleichung wegen wieder daran erinnern, dass die Tiere, wenigstens alle höheren Tiere, dieses Bestandteils notwendig bedürftig sind, daher, wie ich schon bei Gelegenheit der Behandlung des Chlors erwähnt habe, sie sich, wenn sie auf die an Natriumverbindungen arme Pflanzenkost angewiesen sind, eine natriumhaltige mineralische Zulage, das Kochsalz, zu verschaffen suchen. Ein

*) Die älteren Aschenanalysen zeigten wegen der Unvollkommenheit der Methode dieser Analysen grössere Mengen von Natron. Nach Péligot (Compt. rend., 1867, II, p. 729, und ebenda in späteren Jahrgängen) enthalten die meisten Aschen der gewöhnlichsten Gewächse manchmal gar kein Natron. Indessen sind dessen Angaben (Bunge: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 172, p. 16) wegen analytischer Missgriffe nicht beweiskräftig.

**) Von einer Seite ist zwar früher die Unentbehrlichkeit des Natriums für die Fruchtbildung des Weizens behauptet worden (Salm-Horstmar: Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen, 1856, p. 29), doch ist diese Behauptung, bevor man zwingendere Beweise als das Fehlschlagen einzelner Kulturen beibringt, zu übergehen. Ähnliche Schlüsse zog auch Stohmann: Journ. f. Landw., 1862, p. 25. Vergl. auch Bunge: a. a. O.

***) Knop erwähnt einer Pflanzenasche von Chrysanthemum (von Bangert analysiert), die 22,2% Na_2O enthielt; vergl. a. a. O., p. 238, und auch Journ. f. Landw., 1870, Jahresbericht, p. 110.

Gleiches geschieht sogar in vielen Fällen, wenn auch die natriumreichere animalische Kost zur Ernährung dient. — Die Pilze scheinen, soweit die Untersuchungen reichen, das Natrium missen zu können.

Unter den dargelegten Umständen bietet die Form der Aufnahme des Natriums in die höhere Pflanze wenig Interesse für uns dar; sie geschieht übrigens in nach dem Früheren ziemlich selbstverständlicher Weise. Es sind wieder die Natronsalze der schon bei Behandlung der Assimilation des Kaliums genannten Säuren, welche nach Gesetzen, die wir nun bald zu erläutern haben werden, in die Pflanzenwurzel übergehen und sich von dort aus, vermutlich ohne Verarbeitung in die organische Substanz zu erleiden, durch die ganze Pflanze verbreiten. Natürlich können aber diese Natronsalze innerhalb der Pflanze durch Wechselzersetzung organische Säuren eintauschen, so dass das Bestehen organisch-saurer Natronsalze in der Pflanze, auch ohne physiologische Bedeutung des zu Grunde liegenden Metalls, durchaus nicht ausgeschlossen bleibt. — Es ist zwecklos, diese möglichen Umsetzungen zu verfolgen.

Das *Calcium* ist ein weiterer in den Pflanzenaschen mit grosser Regelmässigkeit auftretender Bestandteil. Keine höhere Pflanze ist jemals auf diesen Grundstoff geprüft worden, ohne dass man erhebliche Mengen desselben vorgefunden hätte. Allein auch dessen Verbreitung in der Natur und in der Ackererde ist eine so grosse und in vielen Fällen selbst vorherrschende, dass man nach Analogie des Natriums jenes Vorkommen in den pflanzlichen Organismen auf diesen Umstand zu schieben geneigt sein könnte.

Doch sehen wir, ob eine eigentümliche Verteilung des Calciums in der Pflanze nach einzelnen Organen bemerklich ist. Ein Blick auf die systematischen Zusammenstellungen der Aschenanalysen genügt, um eine solche Verteilung in der That zu konstatieren und um zu finden, dass namentlich die *blattartigen Organe* und mit ihnen auch alle die Pflanzen, bei denen diese Organe vorzugsweise entwickelt sind, *reich* sind *an Calcium*, während die Wurzeln und Knollen unserer Gewächse (mit unterirdischen Reservestoffbehältern) und besonders die Körner der Getreidearten (weniger die ölhaltigen Samen) eine *kalkarme Asche* ergeben. Wir erinnern uns aus unsern bisher gemachten Erfahrungen, dass eine solche ungleichmässige Verteilung eines Aschenbestandteils in der Regel auf eine Funktion desselben hinweist.

Die in früherer Zeit übliche Unterscheidung von *Kalkpflanzen**) neben Kali- und Kieselpflanzen lässt sich wesentlich auf diesen Gesichtspunkt zurückführen, da die verschiedenen Kleearten, auch samentragende Leguminosen, Tabak, und was sonst schon den Titel Kalkpflanzen erhalten hat, eben Gewächse von sehr entwickeltem Blattorgan sind**).

Als auffälligstes analytisches Resultat indessen darf gelten die merkwürdige Thatsache, dass die auf dem kalkreichen Klee sich entwickelnde und von dessen Säften sich nährende Kleeseide (Cuscuta) nur den verschwindenden Betrag von etwa 2 Pro-

*) Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. etc., 1862, I, p. 212 u. ff.

**) Obschon durch Heinrich darauf hingewiesen worden ist, dass Kalkdüngungen mehr noch auf die Entwickelung der Stengelteile als der Blätter zu wirken pflegen.

zent Kalk in ihrer Asche aufweist. Denn bei diesem gefürchteten Schmarotzer, der nicht selbst aus der Luft Kohlensäure zu beziehen braucht, ist eben das Blattorgan unentwickelt geblieben. An diese schlagende Beobachtung schliesst sich dann an die Beobachtung*), dass in den farblosen Teilen panachierter Blätter weit weniger Kalk bei mehr Phosphorsäure und Kali gefunden wird als in den benachbarten grünen Teilen. Also hier giebt der analytische Befund schon einen sehr entschiedenen Fingerzeig in Bezug auf die wesentliche Leistung des fraglichen Bestandteils.

Alle Kulturversuche, die zur Entscheidung der Frage nach der Bedeutung des Calciums angestellt worden sind, haben das übereinstimmende und unzweifelhafte Resultat ergeben, dass — wie nach dem Vorausgeschickten zu vermuten stand — *keine höhere Pflanze zu etwas Erheblichem gebracht werden kann,* wenn nicht schon die junge *Keimpflanze assimilierbare Calciumverbindungen* in ihrer nächsten Umgebung antrifft**). Es tritt dies Resultat um so schneller ein, als die ausgelegten Samen, wie gesagt, grossenteils sehr wenig von dem fraglichen Stoffe enthalten.

Ja es ist mehrfach darauf hingedeutet worden, dass der Mangel an Kalk sich so früh geltend macht, dass nicht einmal die organische Nahrung, in den Reservestoffbehältern des Samens aufgehäuft, völlig von der Keimpflanze verbraucht werden kann, ehe diese unter den mangelhaften Ernährungsverhältnissen zu Grunde geht***).

Das Calcium muss somit, wie der Schwefel, der Phosphor, das Kalium, *als absolut unentbehrlicher Bestandteil* eines jeden höheren Gewächses angesehen werden, und es ist auch in der That einer jener drei Aschenbestandteile, für die de Saussure schon in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts die Unentbehrlichkeit für die Pflanzenwelt vorausgeahnt hatte.

Eine nähere Feststellung der schon durch den analytischen Befund angedeuteten Funktion haben die Kulturversuche nicht gebracht. Ein ganz neues Licht dagegen versprechen die Untersuchungen von O. Loew geben zu sollen, welche die schädliche Wirkung von Oxalsäure auf den Zellkern höherer Pflanzen nachweisen und die Eigenschaft des Kalks, diese Säure zu neutralisieren. Die grünen Pflanzenteile hätten demnach darum ein grösseres Bedürfnis an Kalk, weil die Chlorophyllkörner neben dem Zellkerne viel von dieser Basis absorbieren †).

Oxalsaurer Kalk wird übrigens an sehr vielen Orten als dauerndes Depot, leicht an der krystallisierten Form zu erkennen, häufig in besonders dafür bestimmten Zellen dauernd abgelagert. Damit hat offenbar der Kalk einen Teil seiner Funktionen erfüllt; aber aus demselben Umstande folgt seine geringe Wanderungsfähigkeit, die ihm auch nicht gestattet, sich aus den herbstlichen Blättern zu entfernen, in denen

*) Vergl. Church: Chem. New, V, 36, p. 237.

**) Vergl. z. B. Stohmann: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 121, p. 16.

***) J. Böhm: Wiener Akad. Berichte, 1875, und O. Loew: Flora, 1892, p. 371.

†) Ein Resumé der ganz originellen, aber noch nicht ganz abgeklärten Anschauungen dieses Forschers a. a. O., p. 393. Vergl. auch über die schädl. Wirkung des oxalsauren Kalks auf die Pflanze Schimper: Flora, 1890, p. 207.

er vielmehr zusammen mit anderen überflüssigen Bestandteilen, wie der Kieselsäure, noch in verhältnismässig grossen Mengen angetroffen wird. Von sonstigen Beobachtungen, die zur Zeit noch nicht unter einheitliche Gesichtspunkte gebracht werden können, ist in erster Linie zu erwähnen die interessante Beobachtung, dass der Habitus von Baumwollstauden und anderen baumartigen Gewächsen auf Kalkboden, niedriger, aber gedrungener und mehr zu Blüte und Fruchtansatz geneigt zu sein pflegt als auf kalkarmen Bodenarten*).

Niedrige chlorophylllose Pflanzen, nicht aber die grünen Algen, scheinen des Kalkes ganz entbehren zu können, was nach dem vorhin über die vermutliche Hauptfunktion desselben Gesagten selbstverständlich erscheint, aber doch noch besonders hervorgehoben zu werden verdient.

Über die Form der Aufnahme des Calciums und die Verarbeitung der aufgenommenen Calciumverbindungen brauchen wir dem beim Kalium Gesagten nur wenig mehr hinzuzusetzen. Das Calcium ist im Boden am gewöhnlichsten als kohlensaurer Kalk (der Kalk des gewöhnlichen Lebens) vorhanden, und diese Verbindung, die zwar nicht an sich, aber unter anderem in dem kohlensäurehaltigen Wasser des Bodens und in den sauren Wurzel-Ausscheidungen löslich ist, kann namentlich als solche zur Pflanzenernährung dienen, da sie nicht wie das entsprechende Kaliumsalz stark alkalische, das Pflanzenwachstum schädigende Eigenschaften besitzt. Ebenso unlöslich an sich ist der dreibasisch und der zweibasisch phosphorsaure Kalk, aber (gleichwohl in sehr verschiedenem Grade) löslich in den angegebenen und noch einigen andern in der Ackererde häufigen Medien. Desgleichen sind die an sich löslichen Calciumsalze, der salpetersaure**) und schwefelsaure Kalk, geeignete Formen der Calciumassimilation, während dagegen das leicht lösliche Chlorcalcium eine unter manchen Umständen für die Pflanze schädliche Verbindung***) ist.

In der Pflanze werden dann neben anorganischen Kalksalzen vorwiegend organische, wie der oxalsaure Kalk, häufig in den vorhin erwähnten krystallinischen Abscheidungen†) angetroffen. Von einem näheren Eintritt des Calciums in die hoch organisierten Verbindungen ist wenigstens nichts bekannt.

Das *Magnesium* ist gleichfalls, wenn auch in etwas zurücktretenderen Mengen, ein ganz regelmässiger Bestandteil aller Pflanzenaschen. Nur in den Samen, namentlich in den Samenhüllen (z. B. der Kleie), pflegt es im allgemeinen über das Calcium zu überwiegen, so dass es mithin in seinem Vorkommen in den einzelnen Organen durchaus nicht gleichen Schritt hält mit dem Calcium; dasselbe folgt vielmehr einigermaassen den Proteïnstoffen auf ihrem Weg durch die Pflanze; wenigstens wird es in den Cerealien von der Zeit der Blüte an in der sich bildenden Frucht in grösseren Mengen niedergelegt, worüber wiederum die sorgfältigen Untersuchungen

*) E. W. Hilgard: Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, X, p. 185.

**) Der salpetersaure Kalk hat sich besonders bei Wasserkulturen bewährt, siehe die nächste Vorlesung.

***) Dies hat sich auch bei der in einer früheren Anmerkung erwähnten Untersuchung von Böhm ergeben. Doch vergl. auch Ber. der deutsch. chem. Gesellsch., 1894, R. 205.

†) Vergl. S. W. Johnson: Wie d. Feldfr. wachsen, 1871, p. 210.

Arendt's über die Haferpflanze das deutlichste Zeugnis ablegen, während das Calcium sich während der Fruchtreife gerade umgekehrt verhält. Nur in den älteren Blattorganen wird häufig wie an Calcium so auch ein Reichtum an Magnesium gefunden, so dass, trotz jenem Verhalten, doch auch von einem völligen Parallelismus mit dem Auftreten der Phosphorverbindungen nicht wohl die Rede sein kann, da diese bei dem Altern der Blätter sich mit den löslichen Eiweissverbindungen mehr und mehr aus denselben zurückziehen.

Die Kulturversuche haben in vollkommener Übereinstimmung miteinander schlagend bewiesen, dass die *Magnesiumverbindungen von allen höheren Gewächsen*, soweit sie Gegenstand der Versuchsanstellung gewesen sind, *nicht entbehrt werden können.* Samen, in magnesiumfreien Nährstoffgemischen zu Pflanzen erzogen, haben es nie zu einer freudigen Entwickelung, zu einer erheblichen Vermehrung ihres Trockengewichts und entfernt nicht zu einem normalen Vollzug ihres Kreislaufs bringen können, sondern gingen — die Zusammensetzung der Gemische im übrigen mochte sein, welche sie wolle — unfehlbar in frühen Vegetationsstadien kläglich zu Grunde. Das *Magnesium* muss deshalb *als ein unentbehrlicher Aschenbestandteil jener Pflanzen* und *mit der grössten Wahrscheinlichkeit aller höheren Gewächse* bezeichnet werden.

Auch einige niedrigen chlorophylllosen Organismen wie die der Bierhefe scheinen des Magnesiums nicht entraten zu können, und ist für diese Gruppe von Organismen jedenfalls dieser Aschenbestandteil von viel höherer Bedeutung als das Calcium — eine Thatsache, die für den weiteren Ausbau der Theorie der Wirksamkeit dieser Aschenbestandteile von Wichtigkeit sein wird.

Diese Theorie liegt indessen für das Magnesium noch ebenso vollständig in der Wiege*) wie für die meisten andern schon behandelten Bestandteile. Die Verteilung dieses Grundstoffs durch die verschiedenen Pflanzenteile giebt vorerst noch keine genügenden Anhaltspunkte zu einem Verständnis von dessen organischen Leistungen; doch möchte das manchmal gleichmässige Vorkommen von Phosphor und Magnesium häufig auf das Bestehen einer beiden gemeinschaftlichen Verbindung eines phosphorsauren Magnesiumsalzes hindeuten. Welches aber die Funktionen eines solchen Salzes sein können, darüber ist es zur Zeit fruchtlos, Hypothesen aufzustellen.

Die Aufnahme des Magnesiums in die Pflanze geschieht in ganz analoger Weise wie die des Calciums. Das Chlormagnesium ist — augenscheinlich wegen seiner jenem ähnlichen Eigenschaften — noch mehr wie das Chlorcalcium eine wenig günstige Form für die Aufnahme. Die andern Salze der schon wiederholt genannten Säuren scheinen alle zur Assimilation tauglich zu sein, mögen sie nun an sich löslich oder nur mit Hilfe von andern Beimischungen in Lösung zu bekommen sein. Das Magnesiumsulfat, das gewöhnliche Bittersalz, hat sich in den geeigneten Konzentrationsverhältnissen am tauglichsten**) erwiesen für die Zufuhr von Magnesium. Dass wir über die Verarbeitung der aufgenommenen Magnesiumverbindungen in der

*) Vergl. indessen O. Loew: a. a. O.

**) Dasselbe scheint auch für den Hefepilz zu gelten; vergl. Adolf Mayer: Untersuchungen über die alkohol. Gärung, Heidelberg 1869.

Pflanze keine näheren Kenntnisse besitzen, braucht nicht wieder besonders hervorgehoben zu werden.

Das Eisen ist endlich der letzte metallische Bestandteil, welcher ausnahmslos in *allen höheren grünen Gewächsen* angetroffen wird. Dasselbe findet sich zwar in diesen nur in sehr geringen Mengen vor; und man wird häufig nicht in jeder beliebigen kleinen Aschenmenge es quantitativ nachzuweisen vermögen.

In Betreff der Verteilung dieses Bestandteils über die einzelnen Organe kann gesagt werden, dass es sich unter allen Umständen wesentlich in *den grünen* Organen vorfindet, in allen übrigen Pflanzenteilen aber nicht regelmässig nachgewiesen werden kann.

Die Kulturversuche haben nun auch — zwar nicht unmittelbar und nicht ohne zeitweiligen Widerspruch — erwiesen, *dass das Eisen nicht von der höheren grünen Pflanze entbehrt werden kann.* Es gelingt zwar leicht, namentlich aus Samen (die selbst Eisen nur in Spuren enthalten) Pflanzen in völlig eisenfreien Medien zu erziehen, die es bis zu einer anfangs ganz normalen Entwickelung bringen; und erst in späteren Vegetationsstadien, bei Entwickelung der jüngeren Blätter, treten Symptome auf, welche auf eine mangelhafte Ernährung schliessen lassen, und von diesem Zeitpunkt an kränkelt die Pflanze, bringt es wohl zu einer Vermehrung der Trockensubstanz, aber entfernt nicht zu einer normalen Vollendung ihres Kreislaufs.

Diese Symptome, welche zuerst infolge des Ausschlusses von Eisen sich zeigen, bestehen nun einfach in einer *mangelhaften Ausbildung der Chlorophyllkörner*, die unter solchen Umständen keine grüne Färbung annehmen. Die sonst grünen Pflanzenblätter erscheinen auch dem unbewaffneten Auge bleich und etwas gelblich gefärbt. Man hat diese Erscheinung mit dem Namen Chlorose*) belegt und hat es also in derselben mit einem Zustande zu thun, der an die Bleichsucht erinnert (an den Zustand, in dem die sonst grüne Pflanze sich befindet, wenn sie durch Abschluss vom Lichte gehindert wird, ihre Chlorophyllkörner normal auszubilden)**), nur dass eben in diesem Falle noch mancherlei andere Veränderungen, die sich auf die Gestaltung der Pflanze beziehen, derselben einen auch sonst von der normalgebildeten Pflanze abweichenden Charakter verleihen. Die chlorotische Pflanze unterscheidet sich eben dadurch von der etiolierten oder bleichsüchtigen, dass die sonst grünen Organe sich für das blosse Auge durch nichts anderes von den normal gebildeten unterscheiden als eben durch den Mangel der grünen Färbung, an deren Stelle ein bleicher oder gelblicher Ton tritt.

Der mikroskopische Befund bei der Untersuchung solcher chlorotischen Zellpartien beweist denn auch zur Genüge die unvollständige Ausbildung der Chlorophyllkörner. Alle andern Symptome, die dann später an in eisenfreien Lösungen

*) Es scheint eine Reihe von ähnlichen Erscheinungen zu existieren, an denen nicht Eisenmangel, und auch nicht Lichtmangel die Schuld trägt; vergl. Knop: Kreisl. des Stoffs, I, p. 610, u. Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., 1869, 6. Febr., p. 5; W. Wolf: Landw. Versuchsst., B., 11, p. 114; J. Sachs: Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 148; auch die mangelhafte Ausbildung des Chlorophylls in der Kälte ist ein Beispiel hierfür.

**) Vergl. die fünfte Vorlesung.

gewachsenen Pflanzen auftreten, das Innehalten in der Vermehrung der Pflanzenmasse etc. sind als sekundäre Erscheinungen, die aus naheliegenden Gründen der unvollkommenen Ausbildung des wichtigen Chlorophyllorgans notwendig folgen, aufzufassen.

Es ist nun in sehr vielen Vegetationsversuchen gelungen, *der Chlorose vollständig vorzubeugen durch Erziehung der Pflanzen in* im übrigen gleichzusammengesetzten, aber *eisenhaltigen Nährstoffgemischen* und sogar dieselbe *nachträglich zu heilen durch Zusatz eines Eisensalzes zu den Nährstofflösungen;* und zwar haben sehr verschiedenartig zusammengesetzte Eisensalze in dieser Richtung gewirkt. Nicht bloss eine Reihe von Eisenoxydsalzen, sondern auch Eisenoxydulsalze und sogar eisenhaltige (für die Stickstoffversorgung der Pflanze unbrauchbare) Doppelcyanüre, z. B. das gewöhnliche gelbe Blutlaugensalz*) (wenn auch nicht ohne vorausgehende chemische Zersetzung), haben manchmal diesen Dienst geleistet.

Die zweckmässigste Form des Zusatzes von Eisen zu den Nährstofflösungen scheint die zu sein, dass man fein verteiltes phosphorsaures Eisenoxyd in der Weise aufschlemmt, dass ein Teil dieses Körpers sich auf die Wurzeln festsetzt, wo dann die Pflanze kraft dieser Organe zwar vorzugsweise die Phosphorsäure, in geringerem Grade aber auch das Eisen in Lösung bringt, in sich aufnimmt und den Organen zuführt.

Mehrmals ist es auch gelungen, die durch Eisenmangel hervorgerufene Chlorose zu heilen durch äussere Applikation von Eisenlösungen**). — Es ist also auch durch diese merkwürdige Art der Verabreichung von Nährstoffen, welche sonst bis jetzt nur für Ammoniak geglückt ist, der entscheidende Nachweis geführt, dass das farblose Protoplasma der Zellen eines chlorotischen Blattes gerade an den Stellen, wo die Berührung mit einer Eisenlösung stattgefunden hat, nach einiger Zeit seine gewohnte grüne Farbe annimmt.

Für das Eisen ist somit eine *physiologische Funktion* und mit dieser der Grund seiner Unentbehrlichkeit mit voller Klarheit erkannt. *Zur Ausbildung des Chlorophyllorgans in normaler Färbung und Beschaffenheit ist das Eisen unentbehrlich* und, wie es scheint, nur für diesen einzigen Prozess in der Pflanze unentbehrlich, und die erkannte Beziehung gewinnt noch an Gewissheit und Bedeutung, wenn hinzugesetzt wird, dass für eine Reihe von niedrigen chlorophyllfreien Organismen das Eisen als völlig entbehrlich gefunden worden ist.

Eine andere tiefer liegende Frage ist nun die, welcher Art die Leistung ist, welche das Eisen bei der Chlorophyllbildung ausübt. Wir können auf dieselbe noch lange nicht mit derselben Bestimmtheit antworten wie auf jene andere. Es ist früher behauptet worden, dass das Eisen ein konstituierender Bestandteil des

*) Knop: Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften, 1869, 6. Februar, p. 9 u. f

**) Vergl. Sachs: Handb. etc., p. 143. Die Thatsache, dass diese Methode der Heilung von anderer Seite (Knop: A. a. O., p. 14) angezweifelt wird, zeigt übrigens, dass dieselbe nicht so regelmässig glückt wie jene der normalen Zufuhr durch die Wurzeln, eine Erfahrung, die der Verfasser aus eigenen Versuchen bestätigen kann.

Chlorophyllfarbstoffs*) selbst sei, dass der chemisch gereinigte grüne Farbstoff des Blattorgans unter allen Umständen eine eisenreiche Asche hinterlasse. Diese Angabe ist indesssen durch spätere Analysen des Chlorophyllfarbstoffs nicht bestätigt worden.

Was die Form der Aufnahme des Eisens betrifft, so sind vorhin schon über diesen Gegenstand einige Bemerkungen gemacht worden. Der Wurzel können sehr verschieden konstituierte Eisenverbindungen gegeben werden, nahezu mit dem gleichen Erfolg. Die früher für absolut schädlich gehaltenen Eisenoxydulsalze**) können in hinreichend verdünnter Lösung dasselbe leisten wie die Oxydsalze, und scheint sich jene Schädlichkeit nur auf konzentriertere Lösungen zu beziehen. Dabei ist allerdings die Auffassung möglich (Knop), dass vor dem Eintritt der Oxydulsalze in die Wurzel Eisenoxydverbindungen gebildet werden.

Eisenoxydulsalze im Boden sind auch, wie wir später sehen werden, nur ein sehr brauchbares Symptom für eine ungenügende Durchlüftung desselben, aber keineswegs an sich unbrauchbare Nährstoffe***).

In welcher Form aber überhaupt das Eisen in der Pflanze enthalten ist, ehe es dem Chlorophyllapparat angehört und noch von Zelle zu Zelle wandert, ist nicht bekannt; doch sind Andeutungen dafür vorhanden, dass es wie im Blute und Eidotter auch in der Pflanze vorwiegend in organischer Verbindung aufzutreten pflegt†).

Das ist's, was uns ungefähr hier über die Bedeutung des Eisens für die höhere grüne Pflanze interessieren kann††). Daneben ist etwa noch hervorzuheben, dass das Eisen sich ähnlich wie Kieselsäure und Kalk auch an Orten anzuhäufen pflegt, an denen von einer nützlichen Wirkung nicht die Rede sein kann. Es ist dies Verhalten z. B. für die älteren Baumblätter nachgewiesen und muss als eine einfache Folge der Schwerlöslichkeit der Oxydverbindungen aufgefasst werden.

Wir haben hiermit unsern Überblick über die in den Pflanzen ganz regelmässig vorkommenden Aschenbestandteile und die Untersuchung derselben auf ihre Bedeutung

*) Verdeil u. Pfaundler: Annal. d. Chem. u. Pharm., 115, p. 37—45. Siehe auch die vierte Vorlesung, p. 57.

**) Vergl. Landw. Versuchsst., 1889, B. 11, p. 114.

***) Über Düngungserfolge mit Eisenvitriol siehe später in dem 2. Teil dieses Werkes.

†) Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1885, Refer. 412.

††) Das Eisen kommt in einzelnen Pflanzen, besonders Sumpfpflanzen, in grosser Menge vor; Trapa natans nimmt ganz erstaunliche Mengen dieses Stoffes auf, und wurden in der Asche der abgefallenen Früchte 68,6% Eisenoxyd gefunden, in den Blättern bezogen auf die Frischsubstanz zuweilen noch mehr als in den Früchten. Vergl. über diesen Gegenstand Gorup-Besanez: Jahresber. d. Agrikulturch., 1861—62, p. 59, und Ann. d. Chem. und Pharm., B. 118, p. 220 und besonders p. 224. Die Erklärung dieser Erscheinung ist aber wohl nicht auf physiologischem Wege zu suchen. Die grünen Sumpfpflanzen scheiden Sauerstoff ab in einem Medium, welches in der Regel reich ist an löslichen Eisenoxydulsalzen. Dadurch wird offenbar gerade wie in einem zu Tage tretenden Drainwasser Eisenoxydhydrat abgeschieden, das dann an der Pflanze hängen bleibt. Auch Sphagnumarten enthalten vielleicht z. T. aus ähnlichen Gründen manchmal 10—20% Eisenoxyd in der Asche.

für das Pflanzenleben vollendet und sind nun im stande, die im allgemeinen für die höhere Pflanzenwelt entbehrlichen Bestandteile von den durchweg unentbehrlichen zu scheiden. Wir können nunmehr aussprechen, dass ausser *Kohlenstoff*, *Wasserstoff*, *Sauerstoff* und *Stickstoff* auch noch der *Schwefel* und *Phosphor*, und von Metallen das *Kalium, Calcium, Magnesium* und das *Eisen*, also 10 Elemente, *wesentliche Bestandteile* einer jeden höheren chlorophyllhaltigen Pflanze sind, wenigstens soweit unsere Erfahrung reicht. Bei den niedrigen chlorophyllfreien Organismen wird diese Zahl auf 7 reduziert, bei der Tierwelt auf etwa 14 gebracht, so dass man nach dieser Zusammenstellung wieder deutlich sieht, wie mit der Menge der Funktionen auch die Zahl der beteiligten Elemente zunimmt. Man kann dieses Ergebnis in etwas willkürlicherer Weise, und wenn man Rücksicht nimmt auf die Formen der Stoffaufnahme, auch so darstellen, dass man sagt, zur Existenz einer jeden dieser Pflanzen seien folgende Verbindungen notwendig:

Der *freie Sauerstoff* (zur Unterhaltung der Atmung),
das *Wasser;*
ferner 4 Säuren,
die *Kohlensäure*, *Salpetersäure**), *Schwefelsäure*, *Phosphorsäure*,
und 4 Basen,
das *Kali*, der *Kalk*, die *Magnesia* und das *Eisenoxyd* (resp. -oxydul).

In dieser Form prägt sich der Bedarf der höheren Pflanze leicht unserem Gedächtnisse ein.

Die mit nur fakultativen Einschränkungen *hochoxydierte* und in jedem Falle *mineralische* Natur der gewöhnlichen Pflanzennahrung springt hierbei sogleich ins Auge und wir sehen durch die Detailforschung durchaus bestätigt, was Liebig mit so bewunderungswürdigem Scharfblick vor einem halben Jahrhundert als Norm aufgestellt hatte. Daneben ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass nur Elemente mit verhältnismässig niedrigem Atomgewicht H = 1, C = 12, O = 16, N = 14, S = 32, P = 31, K = 39, Ca = 40, Mg = 24, Eisen = 56 sich an dem Aufbau der Pflanzen (und dasselbe gilt auch für die Tierwelt) beteiligen. Es ist sicher keine Zufälligkeit, dass allein solchen Elementen eine Brauchbarkeit für physiologische Zwecke zukommt.

Die andern regelmässig aufgefundenen Aschenbestandteile, das *Silicium*, das *Chlor* und das *Natrium*, können keinesfalls als absolut unentbehrliche Bestandteile aller dieser Pflanzen bezeichnet werden. Ihr regelmässiges Vorkommen in der Asche derselben muss grossenteils der reichlichen Verbreitung von Verbindungen dieser Grundstoffe in der Natur und damit in der unmittelbaren Umgebung der Pflanzen zugeschrieben werden. Damit ist jedoch keineswegs gesagt, dass nicht diesen Stoffen manche minder wichtigen, wenn auch zum gedeihlichen Bestehen der Gewächse nicht absolut erforderlichen Funktionen zukommen können. Für das Silicium und namentlich für das Chlor sind solche vielmehr mit einiger Bestimmtheit angedeutet.

Neben den mit grosser Regelmässigkeit durch die ganze Reihe von Pflanzenfamilien auftretenden Aschenbestandteilen sind nun, wie früher angeführt, andere *in mehr vereinzelten Fällen* vorgefunden worden. Auch diese mussten offenbar

*) Resp. das Ammoniak.

für die Fälle ihres Vorkommens auf ihre Notwendigkeit oder Nützlichkeit untersucht werden, wenn die Beantwortung im positiven Sinne auch unter diesen Umständen mit geringerer Wahrscheinlichkeit erwartet werden durfte.

Es ging schon aus der einzig möglichen Theorie der Bedeutung der Aschenbestandteile unzweifelhaft hervor, dass es im allgemeinen nicht erlaubt ist, aus der Entbehrlichkeit irgend eines Bestandteils für einen Organismus einen Schluss zu machen auf das gleiche Verhalten eines anderen, wenn auch morphologisch verwandten Organismus und einige der experimentellen Erfahrungen bestätigen die Richtigkeit dieser Anschauung vollkommen. — Ein solcher Schluss würde nur erlaubt sein, wenn es vorher gelungen wäre, die vollkommene Analogie der physiologischen Vorgänge zu erweisen, und dies ist natürlich bei dem Stand unserer Kenntnisse zur Zeit unthunlich.

Wir müssen uns daher von neuem an die Arbeit machen — wenn ich auch versprechen kann, dass sie in kurzem vollendet sein wird — und die Ergebnisse der in Bezug auf die Bedeutung dieser in mehr vereinzelten Fällen auftretenden Aschenbestandteile angestellten Kulturversuche zusammenzufassen suchen.

Als seltener, doch aber mit einer gewissen Regelmässigkeit in einzelnen Pflanzenarten auftretende Aschenbestandteile haben wir früher schon genannt: das *Jod* und das *Fluor* und von Metallen das *Aluminium* und das *Mangan*.

Das *Jod* findet sich in erheblichen Mengen in der Asche einiger Seetange*) (Fucus- und Ulva-Arten) und Strandpflanzen und in Spuren selbst in einigen Sumpfpflanzen**). Im Meerwasser dagegen ist das Jod in so geringen Mengen vorhanden, dass in vielen Fällen der Nachweis desselben missglückt ist. Die Pflanzen haben somit die Eigenschaft, diesen Bestandteil in sich zu konzentrieren, woraus man schon, wie wir früher gesehen, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, zumal in nicht transspirierenden Pflanzen, auf einige Bedeutung schliessen kann***). Mit den eigentlichen jodhaltigen Seepflanzen sind indessen noch keine Versuche angestellt, dieselben würden schwierig sein und haben wenig praktisches Interesse; und bei den vielfachen Kulturen mit andern Pflanzen ist das Jod in keinem Falle als unentbehrlich gefunden worden. Jedenfalls scheint dieses Element für keine landwirtschaftliche Nutzpflanze irgend eine Bedeutung zu haben.

Das *Fluor* ist bei der Analyse der Landpflanzen meistens ganz übersehen worden. Gleichwohl lässt sich auf dessen grosse, wenn auch spärliche Verbreitung schliessen, da das Fluor ein regelmässiger, wenn auch äusserst sparsamer Bestandteil des höheren Tieres ist — ich erinnere an den Fluorgehalt der Knochen, nament-

*) In Fucus saccharinus hat man 0,23% Jod (bezogen auf die trockene Pflanzenmasse) gefunden. Vergl. Gmelin-Kraut: Chemie, 1872, I, 2, p. 283, ebenda auch Angaben über andere jodhaltige Pflanzen. — Die gewöhnliche Methode der Gewinnung des Jods war früher die Verarbeitung der vorher auf Soda ausgebeuteten Aschenrückstände von Seegewächsen (Varec in der Bretagne oder Kelp in Schottland).

**) Vergl. Göbel: Agrikulturchem., 1858, p. 71. Nach dieser Quelle sollen auch in Runkelrüben Spuren von Jod gefunden worden sein.

***) Siehe die Vorlesungen über Stoffaufnahme, namentlich die dreiundzwanzigste.

lich des Zahnschmelzes*). In dem Mineralreich und somit in der Ackererde kommt das Fluor in ausgedehnter, wenn auch ziemlich sparsamer Verbreitung vor. Der gewöhnliche *Flussspat* und der *Apatit* sind fluorhaltige Mineralien. — Das Fluor ist nun allerdings von Wicke in den Samenhüllen der Getreidearten, von Wilson**) und Salm-Horstmar auch sonst im Pflanzenreiche aufgefunden worden. Doch kann der Beweis für dessen Unentbehrlichkeit, angesichts der vielen Resultate von Kulturversuchen, die mit fluorfreien Nährgemischen angestellt worden sind, nicht als mit genügender Sicherheit erbracht angesehen werden.

Die Bedeutung des Fluors als Pflanzennährstoff erheischt also eine neue Bearbeitung, zumal da neuerdings die Aufmerksamkeit auf diesen Aschenbestandteil wieder dadurch gelenkt ist, dass man die desinfizierende Kraft von Fluorsalzen erkannte. Die Lebensfeindlichkeit gerade den niederen Organismen gegenüber schien sich zu einer Waffe der höheren gestalten zu sollen, da wo sie bei ansteckenden Krankheiten gegen jene zu streiten haben. Bei der näheren Erörterung dieses Gesichtspunktes ist man aber bislang noch nicht zu Thatsachen gelangt, die denselben schlechthin zu bejahen geeignet erscheinen***).

Was indessen das Resultat weiterer Versuche in dieser Richtung sein wird, wir können schon jetzt als mit Sicherheit feststehend annehmen, dass diese Frage ebensowenig wie in Bezug auf andere noch zu behandelnde Stoffe, für welche die Möglichkeit irgend einer untergeordneten physiologischen Funktion noch vorhanden gedacht werden muss, eine grosse Wichtigkeit für die praktische Landwirtschaft erlangen wird.

In dieser Hinsicht kann vielmehr als ganz allgemeiner Satz ausgesprochen werden, dass Pflanzennährstoffe, deren Notwendigkeit nur mit grossem experimentellem Aufwand erwiesen werden kann, in Hinsicht auf die Praxis als solche vernachlässigt werden dürfen, wenn derartigen Fragen auch ein dereinstiges theoretisches Interesse nicht abgesprochen werden kann. Dies liegt einfach darin, dass es sich bei Stoffen, deren Unentbehrlichkeit sich nach wenigen Versuchen nicht sofort herausstellt, niemals um Mengen handelt, die beim landwirtschaftlichen Betriebe irgend in die Wagschale fallen können. In der That werden wir später bei der Düngerlehre klar erkennen, dass nur Stoffe, für welche der Nachweis ihrer Unentbehrlichkeit sofort geführt werden konnte, und für die sogar diese Unentbehrlichkeit schon lange vor Beginn der Vegetationsversuche aus dem Ergebnisse der rohest ausgeführten Aschenanalysen und gewissen Erscheinungen in der Praxis mit einiger Wahrscheinlichkeit geschlossen worden war, eine Bedeutung als Düngemittel erlangt haben. Aus diesem Gesichtspunkte entschuldigt sich auch die skizzenhafte Behandlung der noch gelegentlich in einzelnen Pflanzengruppen funktionierenden Aschen-

*) Der Gehalt an diesem Bestandteile scheint übrigens durch die älteren Analysen stark übertrieben zu sein. Vergl. Gabriel: Zeitschr. f. physiol. Chemie, 18, p. 257.

**) Vergl. Göbel: a. a. O., p. 72, u. Poggend. Annal., III, p. 339.

***) Der Assistent an der Wagening'schen Versuchsstation, Dr. Wrampelmeyer, hat auf die Anregung des Verfassers diese Frage in Bezug auf die Caries der Menschenzähne bearbeitet. Vergl. Zeitschr. f. analyt. Chemie, 32, p. 550. Doch wird die neuere, soeben zitierte Abhandlung von Gabriel vielleicht in die Grundlage dieser Untersuchung eingreifen.

bestandteile, da auch das theoretische Interesse von dergleichen Thatsachen bei unserer unvollkommenen Einsicht in die Wirksamkeit jener Stoffe *vorerst* ein sehr geringes ist.

Das *Aluminium* wird trotz seiner ausserordentlich grossen Verbreitung in der Natur verhältnismässig selten in erheblichen Mengen*) als Aschenbestandteil der Gewächse angetroffen, und wo wir in einer Aschenanalyse unserer bekanntesten Pflanzen Thonerde mit als Bestandteil angeführt sehen, da haben wir meistens guten Grund zu vermuten, dass dieselbe aus den an den gesammelten Pflanzen klebenden Unreinigkeiten (Erdteilchen) stammt und nicht ein wirklicher Bestandteil des Organismus war.

Gleichwohl findet sich das Aluminium in einer Reihe von Pflanzen als regelmässiger Bestandteil und häufig in nicht ganz untergeordneten Mengen vor. So findet sich in mehreren *Lycopodium-Arten* ziemlich viel Thonerde angeblich als Acetat**). Dasselbe Salz ist in den Weintrauben gefunden worden; und dass verschiedene Teile des Rebstocks bei der Einäscherung Aluminium-Verbindungen hinterlassen, ist eine sicher festgestellte Thatsache***). Ziemlich regelmässig scheint ferner dieser Aschenbestandteil in den Flechten vorzukommen.

Es sind mit allen diesen Pflanzen indessen bis dahin noch keine Kulturversuche angestellt worden, um die Frage nach der Bedeutung des Aluminiums zu entscheiden; doch deutet die Art des Vorkommens im Lycopodium und den Flechten auf eine Beziehung dieses Elementes zu eigentümlichen, wenn auch unbekannten Verrichtungen dieser Pflanze. Vielleicht aber genügt es anzunehmen, dass diejenigen Pflanzen Thonerde in sich aufnehmen, die starke Säuren in ihren Wurzeln (oder den entsprechenden Organen) enthalten, und dass der Gehalt an Aluminium dennoch als in gewissem Sinne zufällig aufzufassen sei.

Das *Mangan* ist ganz im Gegensatz zum Aluminium ein weit verbreiteter Aschenbestandteil der Pflanzen, namentlich auch der Waldbäume, wird aber meist nur in geringen Mengen†) gefunden. Es erklärt sich dieses Vorkommen genugsam

*) In kleineren Mengen durch Ricciardi mehrfach nachgewiesen. Biederm. Centralbl., 1890, 110.

Ich selbst fand in der Asche von auf Heideboden gewachsenem Lycopodium clavatum ansehnliche Mengen (6,8 %) von Al_2O_3 und auffallend wenig (1,1 %) Kalk.

**) Auch die Asche anderer Lycopodiaceen ist thonerdehaltig. Vergl. Knop: Kreisl d. Stoffs, I, p. 263, und namentlich auch Journ. f. pr. Chem., B. 40, p. 302; Chem. Centralbl., 1872, Nr. 11.

***) Auch im Birkensaft ist einmal das Vorkommen dieses Körpers behauptet worden. Vergl. Boussingault: Die Landw. etc., deutsch von Gräger, 1844, I, p. 81.

†) In Blättern und Holz von Waldbäumen wurde übrigens öfters Mangan gefunden, in den Gehalt an Eisen weit übersteigenden Mengen; vergl. Ebermeyer: Die gesamte Lehre d. Waldstreu, 1876, p. 139. Auch in Wasserpflanzen wurde Mangan zuweilen in sehr grossen Mengen nachgewiesen. Padina pavonia (ein Seetang) enthielt über 8 % (?) von dem Gewicht der trockenen Pflanze, obgleich im Meerwasser kaum der Nachweis von Mangan gelingt; vergl. Liebig: Die Chemie etc., 1862, II, p. 55; ferner in Trapa natans; vergl Jahresber. f. Agrikulturchemie, 1870—72, II, p. 21, u. Journ. f. Landw., 1870, Jahresber. p. 113. Aber dieses Vorkommen dürfte sich in diesen Fällen grossenteils aus denselben Gesichtspunkten, die vorhin bei dem Eisen angedeutet wurden (Unlöslichwerden durch Oxydation), erklären.

aus der ziemlich grossen Verbreitung dieses Elements im Mineralreiche. Ausreichende Beweise für die Unentbehrlichkeit oder Nützlichkeit dieses Elements für irgend ein Glied der Pflanzenwelt sind nicht beigebracht worden.

An die eben behandelten gelegentlich vorgefundenen Aschenbestandteile schliessen sich dann auch die übrigen noch seltener vorgefundenen an, für die indessen teilweise das eben Gesagte gelten kann.

Titan ist von Salm-Horstmar in Getreidepflanzen aufgefunden worden.

Lithium findet sich in sehr geringen Spuren, aber in grosser Verbreitung, da es als Lithionglimmer und andere Mineralien namentlich in den granitischen Gesteinen und einigen Mergelarten vorkommt und daher ein nicht ungewöhnlicher Bodenbestandteil ist. Dasselbe wird übrigens von einigen Pflanzenarten*) konzentriert. Von Salm-Horstmar wurde auf Grund einiger wenigen Versuche die Notwendigkeit desselben für die Fruchtbildung der Gerste behauptet**). In einem Falle ist die direkte Schädlichkeit dieses Stoffes für das Pflanzenwachstum mit Sicherheit nachgewiesen worden***).

Etwas Ähnliches gilt für das durch die Spektralanalyse ebenso sicher in sehr kleinen Spuren nachweisbare *Rubidium;* auch dieses Metall ist vermittelst jener für physiologische Zwecke beinahe allzuscharfen Methode wiederholt in den Pflanzen nachgewiesen worden†). Durch Nägeli wurde es mit Erfolg zur Ernährung von Schimmelpilzen gebraucht††).

Ebenso ist das *Arsenik*†††) in einzelnen, das *Kupfer* dagegen in vielen Pflanzen nachgewiesen worden, wenn auch nur in sehr geringen Mengen*†).

Brom ist wie *Jod* in Seetangen und dergleichen Gewächsen gefunden worden.

Für das Vorkommen von *Bor***†), *Strontium*, *Barium****†) im Pflanzenreich liegen nur ganz vereinzelte Beobachtungen vor. — Für keine dieser zuletzt genannten Stoffe ist der Nachweis der Unentbehrlichkeit oder der Nützlichkeit auch nur in einem einzelnen Falle geführt worden.

*) Vergl. Focke: Naturf., 1872, p. 307.

**) Poggend. Annalen, 111, p. 642.

***) Vergl. Landw. Versuchsst., B. XIII, p. 399.

†) Grandeau: Compt. rend., T. 54, p. 1057.

††) Siehe die folgende Vorlesung.

†††) W. Stein, vergl. Göbel: Agrikulturchemie, 1858, p. 62, u. Davy: Journ. f. pr. Chem., B. 79, p. 339.

*†) Vergl. Heiden: Düngerlehre, I, p. 202; Wicke: Henneberg.-Journ., 1864, p. 382. Bei den Angaben über Nachweis von Kupfer, die sich beinahe auf alle Organismen erstrecken, ist wohl zu berücksichtigen, dass man auch in kupferfreien Substanzen dieses Metall findet, wenn man sich der Methode der Reduktion vor dem Lötrohr und dabei eines messingenen Brenners oder Lötrohrs bedient. Vergl. H. Lossen: Chem. Centralbl., 1866, p. 361.

**†) Vergl. Wittstein u. Apoiger: Chem. Centralbl., 1857, p. 530 und Anmerkung auf p. 258, 17. Vorlesung.

***†) Vergl. Bödeker u. Eckhard: Ann. d. Chem. und Pharm., B. 100, p. 294; Sprengel: Journ. f. techn. u. ökon. Chem., III, p. 313; Dworzak: Landw. Versuchsst., B. 17, p. 398, 8.

Nur ein *einziger* der ganz selten vorkommenden Aschenbestandteile eines Vegetabils muss als eine wesentliche Rolle bei den Lebensvorgängen des letzteren spielend angesehen werden, wenigstens insofern als das Festhalten eines gewissen Artcharakters an das Vorkommen des betreffenden Elements gebunden ist, und dieser Bestandteil ist das *Zink*. Dieses metallische Element ist (ausser in geringen Spuren in der Rinde einiger Waldbäume) in erheblichen Mengen in einer Spielart des Veilchens, dem sogenannten *Galmeiveilchen, das nur auf zinkhaltigen Böden* in der Nähe von Zinkhütten, Bergwerken und dergleichen vorkommt, ebenso in den *entsprechenden Spielarten* anderer Pflanzen, z. B. *Thlapsi calaminare* (von *Thlapsi alpestre*), in geringeren Mengen auch in vielen andern auf zinkhaltigem Boden gewachsenen Pflanzen nachgewiesen worden*). Die von der gewöhnlichen Ernährung *abweichende Ernährung mit zinkhaltigen Stoffen* hat bei den genannten Pflanzen offenbar nach und nach *eine erhebliche Änderung des Artcharakters* erzeugt, eine Erscheinung, die übrigens einstweilen auch so gedeutet werden kann, dass die betreffende Spielart sich die Eigenschaft, trotz Zink zu wachsen und so im Kampfe ums Dasein mit anderen Pflanzen auf Galmeiboden auszudauern, erworben hat. Es erinnert dieses Verhältnis an das gärtnerische Kunststück der Blaufärbung der Hortensiablumen durch eisenhaltige Erde, aber ist doch offenbar mehr als eine blosse Reaktion auf die Anwesenheit eines sonst fremden Bestandteils.

Hiermit hätten wir aber endlich den Überblick über die Bedeutung der einzelnen in den Vegetabilien vorgefundenen unverbrennlichen Bestandteile, soweit es für unsere Zwecke angemessen erschien, beendigt.

Neunzehnte Vorlesung.

Die Aschenbestandteile der Pflanze. — Nährstoffgemische. — Allgemeine Betrachtungen.

Wir kennen nun nach den Mitteilungen der letzten Vorlesung vollständig das Bedürfnis der Pflanzen, namentlich der uns bekannteren Pflanzen an feuerbeständigen Stoffen und, da uns schon vorher die pflanzlichen Nährstoffe, aus deren Assimilation und Verarbeitung die organische Substanz resultiert, bekannt waren, so konnten wir aussprechen, aus dem Zusammentritt von welchen Stoffen der Pflanzenleib aufgebaut wird. Wir haben gesehen, dass ausser dem einen unentbehrlichen Stoff, der nicht als eigentlicher Nährstoff bezeichnet werden kann, weil bei dessen Eintritt die organische Substanz der Pflanze (oder richtiger der Vorrat ihrer chemischen Kräfte) sich vermindert, *dem Sauerstoff*, folgende wirkliche Nährstoffe sich an dem Aufbau des Pflanzenleibes im allgemeinen beteiligen: das *Wasser*, dann vier Mineralsäuren: die *Kohlensäure*, *Salpetersäure*, *Schwefelsäure* und *Phosphorsäure*, und vier Basen: das *Kali*, der *Kalk*, die *Magnesia*, das *Eisenoxyd*.

*) Vergl. Risse (in Sachs: Handb. d. Experim.-Phys. d. Pfl., p. 153).

Diese Ausdrucksweise für die bis jetzt behandelten Sätze der Pflanzenernährungslehre ist zwar nicht ganz scharf, da man es in der Natur niemals mit den Säuren und Basen an sich, sondern beinahe immer mit Salzen zu thun hat, die nur nach einer theoretischen Betrachtungsweise als aus Säuren und Basen bestehend angesehen werden können, da ferner die Salpetersäure durch Ammoniak und einige andere chemische Formen des Stickstoffs, und (für mehrere grüne Pflanzen) die Kohlensäure teilweise auch durch schon gebildete organische Substanz vertreten werden kann; — allein die gewählte Ausdrucksweise ist sehr bequem und lässt nach den gemachten Zusätzen kein Missverständnis zu.

Auf Grund dieser Kenntnis des Rohmaterials, aus dem der Pflanzenleib sich bildet — sind nur die erforderlichen Bedingungen des Zusammentritts gegeben —, ist es nun möglich, die *Zusammensetzung jener Nährstofflösungen* kennen und verstehen zu lernen, in denen es gelingt, die Pflanzen in üppigem Gedeihen zu erziehen.

Eine einfach zusammengesetzte Lösung, bestehend aus einem Äquivalent saurem phosphorsaurem Kali, einem Äquivalent schwefelsaurer Magnesia auf 2 Äquivalente salpetersauren Kalk, in einer so grossen Menge Wasser gelöst, dass die Konzentration 2 oder 3 Promille beträgt, und der noch etwas phosphorsaures Eisen im aufgeschlemmten Zustande beigegeben ist, so dass dieses sich auf die Wurzeln ablagern kann, leistet bei der Ernährung der meisten Pflanzen gute Dienste. Noch etwas bessere Resultate scheint man zu erhalten, wenn man noch ein Äquivalent salpetersaures Kali hinzusetzt. Auch kommt es auf die relativen Verhältnisse der einzelnen Salze nicht allzu ängstlich an. So ist auch folgende Mischung als sehr zweckdienlich für die Kultur der meisten Pflanzen angegeben worden: 1 Gewichtsteil salpetersaurer Kalk auf je $^1/_4$ Gewichtsteil salpetersaures Kali, saures phosphorsaures Kali und Bittersalz auf 1000 Gewichtsteile Wasser oder auch noch etwas mehr Wasser. In dem Liter dieser Lösung werden dann noch 2 Decigramme phosphorsaures Eisen aufgeschlemmt.

In derartigen Lösungen, die von verschiedenen Experimentatoren in etwas verschiedenen Verhältnissen angewendet worden sind, und für welche durch die meist Erfahrenen auch noch ein Zusatz von Chlorkalium anempfohlen wird, sind nun sämtliche pflanzlichen Nährstoffe enthalten, mit Ausnahme der Kohlensäure, die in der atmosphärischen Luft, in welche die oberirdischen Teile der Pflanzen hineinragen, in (für die Zwecke dieser Kulturen) genügender Menge sich vorfindet.

Die Konzentration solcher Nährstofflösungen können im allgemeinen schwanken von 0,5—5 Promille*). Viele der anfangs unternommenen Kulturversuche sind an der zu hoch gegriffenen Konzentration gescheitert. Ganz allgemein Gültiges lässt sich indessen über die zu wählende Verdünnung nicht sagen, da hierbei selbst auf

*) Bei den Sandkulturen kann man viel höhere Konzentrationen ohne allen Schaden anwenden (vergl. Hellriegel: Jahresber. d. Agrikulturch., 1861—62, p. 115), und ist für dieses Verhalten bisher noch keine plausible Erklärung aufgefunden worden. Vermutlich muss sie gesucht werden in der grösseren Unempfindlichkeit der derber ausgestatteten Sandwurzel gegenüber der Wasserwurzel.

die gewählten Salze, ebenso aber auf die zu kultivierenden Pflanzen Rücksicht genommen werden muss. Lupinen z. B. gedeihen, der Art ihres natürlichen Standorts entsprechend, nach den Angaben von Klien*) nur in sehr viel verdünnteren Lösungen. Knop giebt an**), bei der Kultur einjähriger Pflanzen wähle man am besten für die ersten Stadien der Entwickelung Lösungen von 0,5—1 Promille Salzgehalt, dann solle man die Konzentration bis zur Blüte nach und nach etwas steigern, nach dieser Vegetationsperiode gedeihe aber die Pflanze auch vollkommen in reinem destilliertem Wasser, wie denn auch im freien Lande zu diesem Zeitpunkte die zur völligen Ausbildung der Pflanze nötigen Nährstoffe beinahe ganz aufgenommen sind. — Für die perennierenden Gewächse, namentlich für die Bäume, wird die ganze sommerliche Vegetationsperiode hindurch ebenfalls eine Konzentration von 0,5—1 Promille empfohlen, nach dem Abwerfen der Blätter jedoch reines Wasser. Ferner scheint der Experimentator seine Lösungen zweckmässigerweise auch nach der Witterung richten zu müssen. Bei heisser Witterung und grosser Transpiration der Blätter scheint man mit verdünnteren Lösungen, in kühleren Sommern mit konzentrierteren Lösungen weiter zu kommen. Der Grund hierfür wird bald aus den Gesetzen der Stoffaufnahme eingesehen werden können.

Hiermit sind indessen die Regeln, welche der Versuchsansteller bei der Methode der Wasserkultur — und ganz Ähnliches gilt natürlich auch für die von dieser Methode im Grunde nur wenig verschiedene Kultur in reinem Sand und dergleichen Materialien — nicht ausser Augen lassen darf, noch bei weitem nicht erschöpft. Die Pflanzen bringen nämlich, wie wir schon früher einmal angedeutet haben, durch ihre eigene Assimilation Änderungen in der Zusammensetzung der ihnen dargebotenen Nährstoffgemische hervor und zwar teilweise tiefgreifende Änderungen, welche diese Lösungen mit der Zeit zu sehr schädlichen für das Pflanzenleben machen können. Die gewöhnliche Ackererde vermag durch eine Reihe von Reaktionen, die in ihr mit Zuhilfenahme einer grossen Menge von Nicht-Nährstoffen und namentlich durch Anwesenheit des säureneutralisierenden und doch nicht alkalisch reagierenden kohlensauren Kalks, sowie von komplex zusammengesetzten Silikaten möglich sind, derartigen Schädigungen durch das Pflanzenleben vorzubeugen; in der künstlichen Nährstofflösung von verhältnismässig viel einfacherer Konstitution ist dies natürlich nicht der Fall.

Wenn nämlich eine in einer wässrigen Lösung erzogene Pflanze die Nährstoffe so dargeboten bekommt, dass die näheren Bestandteile der verabreichten Salze in sehr verschiedenem Grade assimilationsfähig sind, so wird leicht Veranlassung zu einer Reaktionsänderung gegeben. Bekommt z. B. eine stickstoffbedürftige Pflanze diesen Grundstoff in Gestalt von Salmiak, so wird das Ammoniak dieses Salzes rasch assimiliert und verarbeitet, die Salzsäure bleibt übrig, da für sie als solche keine Funktion in der Pflanze und keine Möglichkeit der Verarbeitung existiert, und wird durch die Wurzeln auf dem Wege der Exosmose ausgeschieden. Unter diesen Umständen wird die Nährstofflösung, namentlich bei intensiver Vegetation der kultivierten

*) Naturforscherversammlung zu Köln 1889.

**) Kreislauf des Stoffs, p. 607.

Pflanze, saurer und saurer werden. Eine stark saure Lösung ist aber für die Pflanzenwurzel schädlich, und greift der Versuchsanstеller nicht rasch durch Zuführung von alkalischen Substanzen in den Verlauf dieses Prozesses ein, so hat sich die Pflanze in einer anfangs ganz zuträglichen Nährstofflösung durch ihre eigene Vegetationsthätigkeit zu Grunde gerichtet.

Umgekehrt, wenn sich in der anfangs neutralen oder sehr schwach sauren Nährstofflösung, wie sie für die Pflanze zuträglich ist, salpetersaure Salze befinden, deren Basis von der Pflanze in geringerem Verhältnis verarbeitet wird als die stickstoffhaltige Säure, so scheiden die Wurzeln sehr bald diesen unverwendbaren Teil der Basis wieder an Kohlensäure gebunden ab*), welche letztere Verbindung ja durch die Thätigkeit der Atmung überall im pflanzlichen Gewebe und namentlich an der Stätte, wo Salpetersäure zu Proteïnstoffen verarbeitet wird**), Entstehung nimmt. — Auf diese Weise werden die Nährstofflösungen alkalisch und damit in hohem Grade schädlich für die Pflanzenwurzel. Es treten dann sehr bald Erscheinungen ein, welche diese Thatsache bezeugen. Die Wurzeln sterben teilweise ab und faulen; es treten so durch die sich oxydierende tote organische Substanz Reduktionsprozesse ein; es bildet sich eben durch diesen Reduktionsprozess Schwefeleisen***) aus der vorhandenen Schwefelsäure und dem Eisenoxyd, oder doch wenigstens Eisenvitriol, welche Produkte ihrerseits wieder schädlich auf die noch lebenden Wurzeln wirken. — Kurz, die Pflanze stirbt sehr bald, indirekt infolge ihrer eigenen Vegetationsthätigkeit ab, wenn nicht der Experimentator auch für diese Veränderungen ein scharfes Auge hat, von Zeit zu Zeit mit Lackmuspapier die Reaktion seiner Lösungen prüft und zu rechter Zeit die Alkalinität durch Zusatz von einigen Tropfen wässriger Phosphorsäure oder Salpetersäure wieder aufhebt.

Eine andere Schwierigkeit bei der Wasserkultur ist gerade durch die vielgerühmte Durchsichtigkeit gegeben. Infolge derselben wirkt auch die Sonne auf Nährstofflösung ein, viel stärker als auf die undurchsichtige Erde, erwärmt die Wurzel über die Maassen, bringt Beugungserscheinungen bei dem Wachstum derselben zuwege und giebt Veranlassung zu einer üppigen Entwickelung von grünen Algen, die ihrerseits zuerst zwar durch die Sauerstoffentwickelung günstig wirken, hernach aber, sobald es an partielles Absterben geht, zu denselben soeben angedeuteten Reduktionserscheinungen mit ihren üblen Folgen Veranlassung geben. Deshalb sind die Glasgefässe mit weissgefärbten Metalldeckeln zu versehen und, solange die Insolation dauert, in passende Holzkästen einzuschliessen.

Man wird im stande sein, das Verdienst derjenigen, die sich an der Ausbildung der Wasserkultur beteiligt haben, zu würdigen, wenn man nur einen Teil

*) Vergl. Knop: A. a. O., p. 604, u. Stohmann: Landw. Versuchsst., 1862, p. 66.

**) Vergl. die elfte Vorlesung, p. 163.

***) Ähnliche Reduktionserscheinungen, die mit der Bildung von schwarzem Schwefeleisen verknüpft sind, treten auch ein, wenn das Kulturgefäss so sehr mit der Masse der Wurzeln angefüllt ist, dass der Sauerstoffzutritt verhältnismässig gering ist, und die Fäulnis einzelner abgestorbener Wurzelpartieen den Salzen selbst den Sauerstoff entzieht. Vergl. J. Sachs: Landw. Versuchsst., 1866, p. 266. — Auch in sauren Lösungen tritt mitunter Bildung von Schwefeleisen ein. Vergl. Knop: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 129, 321.

dieser Schwierigkeiten berücksichtigt, die notwendig beseitigt werden mussten, ehe man an eine Verwendung jener Kulturmethoden zu wissenschaftlichen Zwecken denken konnte.

Der Charakter der (durch die häufig bei der Vegetation eintretende einseitige Assimilation bedingten) schädlichen Veränderungen der Nährstofflösungen macht nun auch die Zweckmässigkeit der Anwendung jener anderen Maassregeln leicht erklärlich, welche in einer häufigen Erneuerung der Nährstofflösungen oder in der Verwendung sehr grosser Quantitäten derselben bestehen.

Als Parallele für die Aufnahme der mineralischen Nährstoffe und der günstigsten Form ihrer Darbietung mögen auch hier einige Worte über die Form der Aufnahme der Aschenbestandteile bei niedrigen chlorophylllosen Organismen gesagt werden. Es liegt für einige in diese Klasse gehörigen Organismen eine geringe Zahl von Angaben vor. Die gewöhnliche Bierhefe, Saccharomyces cerevisiae, gedeiht*), wenn man sie neben Zucker mit rein anorganischen Stoffen ernähren will, sehr gut in einer etwa 15prozentigen Zuckerlösung, der 5 Promille saures phosphorsaures Kali, 2 $^1/_2$ Promille schwefelsaure Magnesia (krystallisiertes Bittersalz) und $^1/_2$ Promille dreibasisch phosphorsaurer Kalk zugesetzt wurden, und die ausserdem 7 $^1/_2$ Promille salpetersaures Ammoniak enthält. Salpetersäure ist in diesem Falle jedenfalls nicht, Kalk ebensowenig als wirklicher Nährstoff, sondern nur als eine gute chemische Form des Nährstoffgemisches herbeiführend anzusehen. Giebt man dagegen den Stickstoff in Form von organischer Substanz, als Peptone, so kann als zweckmässige mineralische Ernährung auch dienen: dieselbe Menge von saurem Kaliphosphat und von schwefelsaurer Magnesia, aber ohne phosphorsauren Kalk, — mit etwas geringem Erfolg: Kaliphosphat und 3 Promille phosphorsaure Ammoniak-Magnesia. Die an sich unlöslichen basischen Phosphate der alkalischen Erden gehen dabei durch die Kohlensäure, die sich bei der Gärung entwickelt, durch das saure Kalisalz etc. zur richtigen Zeit in Lösung über.

Man sieht aus diesen wenigen Angaben, dass auch bei dem verschiedenen Nährstoffbedürfnis, welches ein solcher Pilz den höheren Pflanzen gegenüber hat, doch die chemische Form der Zufuhr für manche Stoffe eine ähnliche ist, wenn man z. B. in beiden Fällen die Nährstofflösungen, die sich als am meisten zweckmässig bewiesen haben, miteinander vergleicht.

Was die Konzentrationen jener Lösungen bei der Ernährung des genannten Repräsentanten niedriger Organismen betrifft, so ist allerdings ein bedeutender Unterschied gegenüber der höheren grünen Pflanze in die Augen springend. Dieser besteht in den sehr viel höheren Konzentrationen, die sich für die Ernährung des Bierhefepilzes tauglich gezeigt haben, wie aus den gemachten Angaben zur Genüge hervorgeht. Ich kann hinzufügen, dass mit diesem Verhalten auch eine sehr auffallende Unempfindlichkeit jenes Pilzes gegen fremde salzartige Beimischungen Hand in Hand geht.

*) Vergl. Adolf Mayer: Untersuchungen über die alkoholische Gärung etc., 1869. In betreff des Aschenbedürfnisses sind später von F. Cohn und anderen ganz ähnliche Erfahrungen gemacht worden.

Die gemachten Angaben über die zweckmässigste Weise der Ernährung in wässrigen Medien mögen hier genügen. Wir werden später sehen*), dass die Pflanzen draussen in der Natur, wo ihre Wurzeln nicht in einfache Lösungen tauchen, sondern in Flüssigkeiten, die mit den zur Zeit festen Bodenteilchen in mannigfacher Wechselwirkung stehen, wo endlich diese Wurzeln selbst mit festen Bodenteilchen, die nicht wie bei der Sandkulturmethode aus durchaus indifferenten unangreifbaren Substanzen, sondern aus teilweise durch schwache Mittel in Lösung überzuführenden Stoffen bestehen, in Berührung kommen und auf sie einzuwirken fähig sind, in von unserer bisherigen Darstellung vielfach abweichenden Bedingungen sich befinden. — Wir können schon jetzt aus diesem Verhältnis schliessen, dass unter diesen natürlichen Verhältnissen auch die Stoffaufnahme in etwas abweichender Weise erfolgt.

Ehe wir das Kapitel von den Aschenbestandteilen verlassen, müssen wir noch mehrere Punkte von allgemeiner Bedeutung besprechen und zunächst einer Ausdrucksweise Erwähnung thun, die gerade in Bezug auf die Ernährung der Pflanzen durch mineralische Stoffe viel in Anwendung gekommen ist, deren Sinn aber nach dem bisher Erwähnten vollkommen dunkel bleiben müsste, und einige Betrachtungen an dieselbe anknüpfen. Ich meine mit diesen letzten Worten die sogenannte *Substitution* der Pflanzennährstoffe, worunter man die Fähigkeit von Stoffen versteht, für chemisch ähnliche (gewöhnlich isomorphe) Substanzen in den Organismus einzutreten, um dort die Funktionen des vertretenen Bestandteils auszuüben.

Die Bearbeitung dieser Frage ist ohne allen Zweifel von der höchsten Wichtigkeit. Es war von ganz entscheidender Bedeutung für die Theorie der Pflanzenernährung, ob eine solche Vertretbarkeit der einzelnen Nährstoffe stattfinden könne oder nicht, ob isomorphe Basen oder Säuren sich einander in den Funktionen zu vertreten fähig wären, oder ob dies nicht der Fall sei.

Allein, da nach unserer bisherigen Darstellung *die absolute Unentbehrlichkeit einzelner Nährstoffe* für die Existenz eines Organismus oder für eine Funktion in demselben *erwiesen ist,* so erscheint es als ein Widerspruch, noch von der vollständigen Substituierbarkeit eines solchen Stoffes durch einen anderen reden zu wollen; denn in diesem Falle hätte sich ja wenigstens bei genügender Variation der Nährstofflösungen eine *eventuelle Entbehrlichkeit* des betreffenden Stoffes ergeben müssen. Da man durch den Versuch fand, dass dies nicht möglich sei, dass die wirklichen Nährstoffe, für die man die Frage der Substitution aufgeworfen hatte, samt und sonders unentbehrlich seien, so bleibt nur noch übrig, an eine *teilweise Vertretbarkeit* derselben zu denken.

Bei der Frage nach einer teilweisen Vertretbarkeit übersah man aber längere Zeit, wie schwierig es war, derselben experimentell näher zu treten. Wir wissen, dass die Pflanzen nicht bloss Stoffe aus ihrer Umgebung aufnehmen, deren sie bedürftig sind, sondern auch eine Reihe von andern, selbst giftigen Substanzen**), die ihnen zufällig in den Weg kommen, und dass sie solche Stoffe

*) Vergl. besonders die 7. Vorlesung der Bodenkunde.

**) Vergl. später die dreiundzwanzigste Vorlesung. Durch Liebig, der zuerst von einer Substitution der Pflanzennährstoffe gesprochen hat, wurde der im Texte dargelegte Zusammenhang zunächst ganz übersehen. Vergl. sein vielgenanntes Werk von 1840 (p. 87 u. ff.). Die

bis zu gewissen Grenzen in um so höherem Maassstabe aufnehmen, als sie ihnen in grösserer Menge geboten werden. Wenn man nun einen Kulturversuch anstellt und in dem Nährstoffgemenge eine teilweise sogenannte Substitution vornimmt, einen Nährstoff durch einen chemisch ähnlichen z. T. ersetzt, so ist doch offenbar nichts in der Welt natürlicher, als dass wir den Nährstoff im allgemeinen in geringeren Mengen, den „substituierenden Stoff“ in grösseren Mengen als vorher in den Organen der Pflanze vorfinden. In solch einem Falle von der teilweise gelungenen Substitution eines Pflanzennährstoffs zu reden, selbst wenn die Vertretung in irgend einem Versuch einmal in äquivalenten Mengen stattgefunden haben sollte, ist durchaus unlogisch. Um eine derartige Behauptung aufzustellen, ist es vielmehr notwendig, eine Kulturmethode ausgebildet zu haben, nach der es möglich ist, den Effekt eines Nährstoffs in dem Organismus der Grösse nach zu bestimmen, ein Maass für dessen Leistungen zu besitzen. Erst so ist es mit den Grundsätzen einer gesunden Naturforschung verträglich, die Frage nach der Möglichkeit einer teilweisen Substitution aufzunehmen. Mit Hilfe einer derartigen Methode hat man, wie wir sogleich näher sehen werden, erst in neuerer Zeit entfernte Andeutungen in der angestellten Richtung erhalten. So hat E. Wolff gefunden, dass sich der Hafer in der Natur mit weniger Phosphor begnügt, als die im Minimum notwendige Menge von diesem Elemente bei der Kultur in kieselfreien Nährstofflösungen beträgt, was vielleicht auf die Vertretung eines gewissen Bruchteils der Phosphorsäure durch Kieselsäure schliessen lässt.

Dagegen ist nochmals zu betonen, dass alle Versuche über eine völlige Vertretbarkeit der im engern Sinne sogenannten mineralischen Nährstoffe der Pflanze vollständig gescheitert sind, wie dies ja aus dem Satze von der Unentbehrlichkeit dieser Stoffe hervorgeht. Könnte ein Nährstoff eine solche Substitution erleiden, so wäre es offenbar nicht mehr möglich, von dessen Unentbehrlichkeit, sondern höchstens noch von der Unentbehrlichkeit ganzer Stoffgruppen zu sprechen. Es ist also kaum noch nötig, besonders zu erzählen, dass es bei den Pflanzenkulturversuchen nicht gelungen ist:

Kalium-Verbindungen durch *Natrium-*, *Rubidium-**), *Lithium-* oder *Cäsium-Verbindungen*,

von ihm entwickelte Substitutionshypothese für die mineralischen Basen stand mit einem rationellen Erklärungsversuch der Bedeutung der Aschenbestandteile in Beziehung. Es wurden die Analysen zweier Fichten- und zweier Tannenaschen — die eine, noch von de Saussure ausgeführt, gab keine Magnesia an, war also jedenfalls unrichtig, wie schon Sprengel hervorhob — miteinander verglichen und nachgewiesen, dass für je zwei zusammengehörige Fälle auf gleiche Mengen mineralischer Bestandteile einander nahezu äquivalente Mengen an Kohlensäure gebundener Basen in den Aschen vorhanden waren. Vergl. auch die Ausführungen Liebig's: Annal. d. Chem. und Pharm., B. 38, p. 249. Aus diesem Sachverhalt wurde der Satz abgeleitet, welcher aussprach, dass einer jeden Pflanzenasche eine nach Äquivalenten messbare ganz bestimmte Menge von Basen zukäme, innerhalb welcher eine Base die andere vertreten könne. — Es bedarf heute der Versicherung nicht, dass jener Satz durch die vielen später angestellten Aschenanalysen keine weitere Bestätigung erhielt.

*) Nägeli hat freilich für die Ernährung einiger Schimmelpilze nachgewiesen, dass bei denselben Kalium mit gutem Erfolge durch Rubidium ersetzt werden kann. Es scheint also

Calcium-Verbindungen durch *Barium-*, *Strontium-* etc. *Verbindungen*,
Magnesium-Verbindungen durch *Lithium-*, *Calcium-* etc. *Verbindungen*,
Eisen-Verbindungen durch *Mangan-**), *Nickel-***) oder *Kobalt-Verbindungen*,
schwefelsaure Salze durch *selensaure* etc. *Salze*,
phosphorsaure Salze durch *arsensaure* etc. *Salze*,
oder gar *Kohlensäure* durch *Kieselsäure* zu ersetzen.

Eine neue Wendung hat indessen, wie schon angedeutet, die Frage nach der möglichen Substitution von Aschenbestandteilen bekommen durch Versuche, welche in den letzten Jahrzehnten nach der Methode ausgeführt worden sind, welche ich soeben als einzige bezeichnet habe, welche Aussicht auf Erfolg haben konnte. Ich muss bei Darstellung derselben ausgehen von der Veröffentlichung E. v. Wolff's, welche in den Landwirtschaftlichen Versuchsstationen***) mitgeteilt ist. Dieselbe handelt zunächst von einem scheinbar etwas abliegenden Gegenstande, von dem Minimum des Stickstoffbedarfs der Haferpflanze. — Haferpflanzen wurden nach der bewährten Methode der Wasserkultur, welche namentlich auch auf der Hohenheimer Versuchsstation mit seltener Eleganz ausgeübt wird, erzogen, bei überflüssiger Ernährung mit allen möglichen Aschenbestandteilen, aber mit wechselnden und von Null ab regelmässig ansteigenden Mengen von stickstoffhaltigen Nährstoffen (Nitraten). Der Erfolg davon war, wie dies wohl vorausgesehen werden konnte, aber selten so deutlich dargelegt wird, ein Ansteigen der Produktion an pflanzlicher Substanz — am besten zu messen an der Trockensubstanz — mit den Gaben von Stickstoff. Natürlich kann aber nicht von einem proportionalen Ansteigen dieser Produktionen die Rede sein, da die Pflanzenproduktion auch noch von anderen Vegetationsbedingungen abhängig ist, und von einem gewissen Punkte an der Bedarf an Stickstoff aufhören muss, in den Vordergrund zu treten. E. v. Wolff fand z. B. folgendes:

Stickstoff verabreicht (in gr)	0,00	0,05	0,10	0,15	0,21	0,26
Trockensubstanz produziert	3,4	9,3	14,0	17,4	19,8	21,2 .

Man sieht, bei der Verdreifachung der Stickstoffzufuhr (2. und 4. Versuch) steigt die Pflanzenproduktion nur um das Doppelte, bei der Verfünffachung jener (2. und 6. Versuch) steigt diese noch nicht auf das Dreifache, obgleich aller zur Verfügung stehende Stickstoff beinahe vollständig aus der Lösung aufgesogen wird. Dies kann man auch so ausdrücken, dass man sagt, das relative Produktionsvermögen des Stickstoffes nehme mit steigender Gabe ab. Die mit weniger Stickstoff ernährten Pflanzen sind auch *relativ* ärmer an Stickstoff†).

die dargelegte Gesetzmässigkeit für niedere Organismen nicht so scharf zu gelten wie für die höheren, und jene scheinen eher durch ein Quidproquo von chemisch Ähnlichem sich befriedigen zu lassen. Die Nägeli'sche Beobachtung ist bemerkenswert als vermutlicher Ausgangspunkt für neue Untersuchungen auf dem gleichen Gebiete; doch wäre zunächst scharf zu prüfen, ob die verwendete Rubidiumlösung nicht Kalium enthält.

*) Vergl. Landw. Versuchsst., B. VIII, p. 139; B. XIII, p. 72.

**) Nickelsalze selbst als giftig erwiesen (Haselhoff: Landw. Jahrb, 22, p. 862).

***) Bd. 20, p. 395.

†) Unter anderem ging auch aus dieser interessanten Versuchsreihe die teilweise aus der landwirtschaftlichen Praxis bekannte Beziehung hervor, dass vermehrte Stickstoffzufuhr die Ernte an Stroh verhältnismässig mehr befördert als die Ernte an Körnern und auch an Wurzelteilen der Haferpflanze. Doch dies liegt abseits von unserem Wege.

Mehr von Belang ist für uns die Feststellung des Minimums von Stickstoff für die Produktion guter vollständig ernährter Pflanzen. Am einfachsten würde es sein, diese Beziehung so auszudrücken, dass man sagte, eine normale Pflanze habe wenigstens so und so viele Gewichtsteile Stickstoff nötig. Wenn man sich aber erinnert, dass für eine jede Gabe an Stickstoff auch ein gewisser Prozentgehalt der pflanzlichen Trockensubstanz an diesem Elemente charakteristisch ist, so kann man sich auch so ausdrücken, dass bei einem gewissen Prozentgehalte an Stickstoff die Produktionen normale werden. Diese Ausdrucksweise wird sogar vorzuziehen sein, wenn man im Auge behält, dass zwei kleinere Pflanzen denselben physiologischen und praktischen Wert haben können als eine grössere. Diese letztere Ausdrucksweise zu Grunde gelegt, kann das hierher gehörige Resultat so ausgesprochen werden, dass die Trockensubstanz des Hafers mindestens 1 % Stickstoff enthalten müsse, um normale Pflanzen zu ermöglichen.

Schon früher hatte E. v. Wolff für dasselbe Kulturgewächs ganz die gleichen Gesetzmässigkeiten anderen Nährstoffen gegenüber aufgezeigt. Für alle einzelnen Nährstoffe, auch für die Aschenbestandteile, wurde nach der Reihe Analoges nachgewiesen und die Minimalziffern so genau als möglich ermittelt. Auf diese Weise wurden, alles dies zusammenfassend, folgende Resultate endgültig festgestellt. Die Haferpflanze bedarf zu ihrer vollkommen normalen Entwickelung folgender Prozente ihrer einzelnen Nährstoffe berechnet auf ihre Trockensubstanz:

Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk	Magnesia	Schwefelsäure
1,0	0,5	0,8	0,25	0,2	0,2.

Hierbei sind nun mit Ausnahme des Wassers und der Kohlensäure, welche hier ausser Betracht bleiben, alle Nährstoffe der Pflanze berücksichtigt. — Nur das Eisen fehlt noch. Allein dies ist bekanntlich nur in quantitativ zu vernachlässigenden Mengen erforderlich. —

Ziehen wir endlich die Summe der so festgestellten minimalen Mengen von Aschenbestandteilen, so erhalten wir die Zahl 1,95 %. Nun sollten wir ohne weiteres schliessen, dass es bei richtiger Mischung der Nährstoffe möglich sein müsse, normal entwickelte Haferpflanzen mit ungefähr 2 % Asche zu erzeugen. — Dies ist gleichwohl ein Fehlschluss und hierin liegt der Kern der Wolff'schen Entdeckung.

Durch keine Kombination von Umständen, durch keine noch so vorteilhafte Mischung der Nährstoffe gelingt es, normale Haferpflanzen von 2 % Asche in der Trockensubstanz zu erzielen. So konstruierte Pflanzen werden unausbleiblich Krüppel. — Nur bei Überschuss der anderen Bestandteile gelingt es, Pflanzen mit $^1/_2$ Prozent Phosphorsäure oder solche mit $^1/_4$ Prozent Kalk zu erzielen. Jene Pflanzen sind mit nichten auch zugleich diese. Ja sonst entbehrliche Aschenbestandteile, wie die Kieselsäure, zeigen sich notwendig, um jene gefundenen Minima zuzulassen. So kommt es, dass die Summe der Minima nicht auch zugleich das Gesamtminimum für die Ernährung der Pflanze darstellt.

Wie gross ist nun jenes Gesamtminimum, wenn es nicht 2 % der Trockensubstanz ist? Die geringste Aschenmenge, für welche unter besonders günstigen Umständen eine normale Produktion der Haferpflanze beobachtet werden konnte, war in den Wolff'schen Versuchen 3 %. Unter den Ernährungsverhältnissen, wie sie die

Natur darbietet, wird sogar im Minimum eine Menge von 5 % Reinasche gefunden. Man sieht, es handelt sich um bedeutende Unterschiede.

Und welche Bestandteile sind es, welche die noch bestehende Lücke von notwendigen Aschenbestandteilen auszufüllen berufen sind? — Dies scheint relativ gleichgültig zu sein. Der noch übrige Bedarf an unverbrennlichen Stoffen, welchen die Haferpflanze und höchst wahrscheinlich auch jede andere Pflanze geltend macht, kann gedeckt werden, entweder durch Kieselsäure, welche allgemein gesprochen, wie wir früher gesehen, ein entbehrlicher Bestandteil selbst der kieselreichen Gramineen ist, oder durch Kalk (welcher in Mengen von $^1/_4$ Prozent ein unentbehrlicher Bestandteil der Trockensubstanz der Haferpflanze ist) in grösseren Mengen als $^1/_4$ Prozent oder auch durch Phosphorsäure (vielleicht die letzten beiden in Verbindung miteinander) und wahrscheinlich auch noch durch andere Bestandteile der Bodenflüssigkeit.

Schon früher hatte Wolff im speziellen ähnliche Erfahrungen gemacht, ohne diesen Ergebnissen eine so allgemeine Bedeutung beizulegen, aus welchen abgeleitet werden konnte, dass das Minimum an Phosphorsäure, welches durch Wasserkulturen bei Ausschluss aller sogenannten unnötigen Bestandteile festgestellt werden konnte, erheblich höher lag als das Minimum, welches in der Natur beobachtet worden war, wo Silikate im Überfluss zur Verfügung standen und wobei nahezu die Hälfte der Asche aus Kieselsäure besteht. Daraus schien schon damals hervorzugehen, dass die Kieselsäure, weit entfernt davon, die Phosphorsäure in ihren wesentlichsten physiologischen Funktionen vertreten zu können, doch den Bedarf an dieser Substanz einschränkt, also irgend eine sekundäre Funktion dieses sonst unentbehrlichen Bestandteiles mit Erfolg zu vertreten vermag. Ebenso schien aus noch älteren Versuchen Wolff's, ebenfalls an der Haferpflanze ausgeführt, hervorzugehen, dass weniger Kali nötig ist, wenn zugleich Natron anwesend ist und dergleichen Beziehungen mehr.

Durch die späteren Untersuchungen wurde der Satz verallgemeinert, und wir können uns nicht der sehr erheblichen praktischen Bedeutung verschliessen, welche derselbe hat. Wenn es neben spezifischen unentbehrlichen Aschenbestandteilen auch einen darüber hinausgehenden *allgemeinen Bedarf an unverbrennlichen Substanzen giebt,* welcher sich nach Elementen nicht definieren lässt, sondern qualitativ variabel ist, so müssen die Spuren dieser Gesetzmässigkeiten auch in den praktischen Düngungsregeln zu finden sein, ein Gegenstand, auf den wir später zurückzukommen gedenken.

Noch andere Betrachtungen allgemeiner Natur knüpfen sich an die Behandlung des Bedürfnisses der Pflanze nach Aschenbestandteilen an und zwar solche, die später bei den praktischen Folgerungen aus der Ernährungslehre Verwendung finden sollen.

Wir haben eine gewisse Anzahl von Stoffen als unentbehrlich für das Fortkommen der Pflanze bezeichnet. Diese Stoffe werden zwar in sehr verschiedenen Mengen von der Pflanze aufgenommen, sind aber in diesen verschiedenen Mengen in gewissem Sinne als gleichwertig für die Ernährung anzusehen; d. h. das Fehlen oder das Vorhandensein in zu geringer Menge eines jeden einzelnen schädigt das Fortkommen der Pflanze. Ist daher in den die Pflanze in der Natur umgebenden Medien, die darauf angewiesen sind, jener ihren Bedarf an den einzelnen Nährstoffen

zu liefern, irgend ein Stoff in ungenügender Menge vorhanden, so kann dieser Ausfall nicht gedeckt werden durch das Mehr eines andern Nährstoffs, da keiner dieser Nährstoffe einen andern in seiner Wirkung zu vertreten vermag, und so wird in einem solchen Falle *das Wachstum* und *die Produktion an Pflanzenmasse reguliert durch den im Verhältnis in geringster Menge vorhandenen Nährstoff*.

Wenn wir z. B. von dem eben erwähnten durch Wolff ermittelten Bedürfnis der Haferpflanze ausgehen, so ist keineswegs die Schwefelsäure, wenn sie auch nur in einem Viertel der Menge des Kalis in der Umgebung der Pflanze vorkommt, dieser regulierende Bestandteil (oder gar das Eisen, welches in noch kleineren Mengen vorzukommen braucht), sondern sie wird dieses erst, wenn alle anderen Nährstoffe in der vorgeschriebenen Menge vorhanden sind und der Vorrat unter 0,2 % der zu produzierenden Trockensubstanz fällt.

Dieser Satz, der nichts ist als die logische Folgerung aus der Thatsache der Unentbehrlichkeit einzelner Nährstoffe, wurde in einer etwas anderen Form zuerst von Liebig*) ausgesprochen und ist seitdem als sogenanntes Gesetz des Minimums in der Düngerlehre öfters in Anwendung gekommen. Derselbe wird häufig so ausgedrückt: *Der im Minimum vorhandene Nährstoff* (das will sagen: der in Bezug auf diejenigen Mengen der einzelnen Nährstoffe, wie sie zu einer normalen Pflanzenproduktion zusammenwirken, im Minimum vorhandene) *ist maassgebend für die gesamte Grösse der Produktion*. Die einseitige Vermehrung irgend eines Düngestoffs kann im allgemeinen keinen Erfolg haben, sondern nur die Vermehrung der im Minimum vorhandenen, oder wenn vorher schon ein richtiges Verhältnis vorhanden war, nur die gleichzeitige Vermehrung aller.

Es wird nun zweckmässig sein, schon jetzt hervorzuheben, dass jenes sogenannte Gesetz des Minimums sich natürlich nicht auf die mineralischen Nahrstoffe und überhaupt nicht auf die Nährstoffe allein beschränken kann, dass es ebenso gelten muss für alle übrigen unentbehrlichen Vegetationsbedingungen**), wie aus der eben gemachten Herleitung hervorgeht.

*) Am deutlichsten erläutert in: Die Chemie etc., 1862, II, p. 133 u. ff. — Übrigens hat Sprengel schon ähnliche Gesichtspunkte aufgestellt. Vergl.: Die Lehre vom Dünger, 1839, p. 53.

**) Dieses erweiterte Gesetz des Minimums ist von Liebig vielfach verkannt worden, und dessen Missachtung hat ihn gerade teilweise zu jener einseitigen Düngerpolitik geführt, die unter dem Namen „Ersatzlehre" weltbekannt geworden ist. Nur die Wärme macht vielleicht in einem gewissen Sinne eine Ausnahme, insofern günstige Wärmeverhältnisse zunächst ein üppiges Wachstum auch der den Boden durchwühlenden Pflanzenwurzeln veranlassen, die nun ihrerseits auch von den sparsam vorhandenen Nährstoffen mehr Vorteil ziehen. Wenigstens ist dem Verfasser in seiner Praxis der Analyse von Ackererden aus den Tropen, zumal Tabaksböden aus Sumatra, häufig der geringe Gehalt namentlich an Phosphorsäure aufgefallen, dessenungeachtet doch keine entsprechende Unfruchtbarkeit bestanden zu haben scheint — nebenbei gesagt einer der Gründe, warum unsere Düngungsregeln für jene Gegenden von geringem Werte sind. Vergl. hierüber: Landw. Versuchsst., 38, p. 101, und Tydschrift voor Landbouwkunde 1894, p. 253.

Wir haben früher z. B. das Licht als eine unentbehrliche Vegetationsbedingung kennen gelernt. Es folgt also, dass auch der Reichtum an allen Nährstoffen nichts zu einem ergiebigeren Wachstum beitragen kann, wenn das Sonnenlicht im Minimum (nach der eben gegebenen Erläuterung) vorhanden ist, und hieraus können wichtige Folgerungen für den Ackerbau gezogen werden, wie auch schon die weiter oben besprochenen Ursachen des Lagerns des Getreides damit im Zusammenhange standen. Dies sind alles im Grunde selbstverständliche Sätze, gegen die indessen gerade durch diejenigen gröblich verstossen worden ist, welche die Aschenbestandteile und immer wieder die Aschenbestandteile als den einzigen die Erntegrösse regulierenden Faktor in den Vordergrund stellten. Sobald durch reichliche Düngung das Sonnenlicht zu der Bedingung wird, die im Minimum vorhanden ist, hilft eine weitere Zufuhr der Nährstoffe natürlich nichts, und gerade die Beschränktheit der mitwirkenden Sonnenstrahlen ist die Ursache, warum weitere und weitere Düngerzufuhr immer kleinere und kleinere Mehrerträgnisse liefert und schliesslich eben auf einer Hektar Landes, welche Pflanze man auch wählt, nur etwa 10—12 Tausend Kilogramm organische Substanz erzeugt werden kann — ein Umstand, der mit der Erscheinung der zunehmenden Werte der landwirtschaftlichen Produkte bei zunehmender Bevölkerung und damit mit der Erscheinung der Überbevölkerung und aller der ökonomischen Zustände, die mit dieser zu thun haben, in unverrückbarem Zusammenhange steht.

Zum Schlusse unserer heutigen Betrachtungen teile ich in tabellarischer Form eine Reihe von Zahlen über den Gehalt namentlich unserer Kulturgewächse an Aschenbestandteilen und die Zusammensetzung dieser Asche mit. Wir verdanken diese mühevollen Berechnungen und Zusammenstellungen fast ausschliesslich E. v. Wolff*).

Mittlere Menge der Aschenbestandteile in 1000 Gewichtsteilen Trockensubstanz.

I. Gräser.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Eisenoxyd	Gesamt-Asche.
Wiesenheu	3,6	4,9	20,1	4,3	18,6	2,6	11,1	4,8	1,1	69,8
Süssgräser	3,1	5,8	26,9	3,3	23,7	1,9	5,6	2,4	1,0	73,7
Saure Gräser	2,7	5,3	23,6	4,5	20,6	5,7	4,7	3,3	1,8	71,1
Winterweizen (im Schossen)	2,8	7,2	41,2	7,5	33,8	1,8	4,8	1,4	0,8	97,5
Hafer (im Schossen)	3,4	6,9	22,4	3,4	33,5	2,9	5,3	2,5	0,6	81,2
Maispflanze (in der Blüte)	1,9	6,1	11,1	2,9	21,5	2,6	8,3	6,5	1,4	60,6
II. Futterkräuter.										
Rotklee (in der Blüte)	2,1	6,7	1,6	2,7	21,0	1,4	24,1	7,4	0,7	68,3
Weissklee (do.)	5,8	10,1	3,0	2,6	12,1	5,4	23,1	7,2	1,7	71,6
Bastardklee (do.)	2,0	4,8	1,9	2,6	13,2	1,5	16,2	6,0	0,2	47,6
Incarnatklee (do.)	1,5	4,3	9,9	2,2	14,0	5,2	19,2	3,7	1,2	60,8

*) Eine chromographische Darstellung dieser Verhältnisse für die wichtigsten Kulturgewächse findet sich in: Adolf Mayer, Düngung und Fütterung in chromographischer Darstellung, Heidelberg 1890.

	Schwefel-säure	Phosphor-säure	Kiesel-säure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Eisenoxyd	Gesamt-Asche.
Wundklee (in der Blüte)	1,2	5,1	1,8	0,6	14,3	1,5	39,0	2,7	0,7	66,9
Esparsette (do.)	1,7	5,5	4,4	2,1	15,7	1,8	20,2	3,6	0,6	55,0
Luzerne (Anfang der Blüte)	4,4	6,6	4,5	2,6	18,3	1,5	31,5	3,9	1,0	74,6
Ackerspörgel	2,3	10,0	1,0	5,3	23,7	5,5	13,0	8,2	—	67,6
Erbse (in der Blüte)	6,2	8,2	1,0	2,4	27,9	2,8	18,8	7,6	0,6	74,9
Wicke (desgl.)	4,0	7,4	1,3	1,7	23,6	2,8	12,6	5,4	1,3	67,2
Raps (Anfang der Blüte)	11,3	9,0	3,8	6,0	26,9	2,7	17,8	3,2	1,0	81,0
III. Körner, Samen und Früchte.										
Winterweizen	0,1	9,3	0,4	0,04	6,1	0,4	0,7	2,4	0,3	19,7
Sommerweizen	0,3	10,5	0,3	0,1	6,5	0,4	0,6	2,6	0,1	21,4
Spelz ohne Hülsen	—	7,0	0,2	—	5,9	0,6	0,5	2,0	0,1	16,6
Spelz mit Hülsen	1,3	8,8	20,1	0,3	6,7	0,4	1,1	2,8	0,7	42,9
Winterroggen	0,2	9,8	0,4	0,1	6,6	0,4	0,6	2,4	0,3	20,9
Sommergerste	0,4	9,0	7,2	0,2	5,2	0,7	0,7	2,2	0,3	26,0
Wintergerste	0,6	6,5	5,7	—	3,3	0,8	0,2	2,5	0,3	19,9
Hafer	0,4	7,2	13,9	0,2	5,1	0,7	1,2	2,2	0,2	31,4
Hirse	0,1	6,7	18,2	0,2	3,9	0,4	0,2	3,3	0,4	34,3
Mais	0,2	6,8	0,3	0,2	4,2	0,3	0,3	2,3	0,2	15,1
Reis (geschält)	0,02	2,1	0,1	0,01	0,9	0,2	0,1	0,4	0,05	3,9
Sorgho	—	9,5	1,4	—	3,8	0,6	0,2	2,8	0,4	18,6
Buchweizen	0,3	6,7	0,03	0,2	3,2	0,8	0,6	1,7	0,2	13,7
Erbse	1,0	9,8	0,2	0,4	11,8	0,3	1,3	2,2	0,2	27,3
Ackerbohne	0,9	13,8	0,3	0,6	15,2	0,5	1,7	2,5	0,2	35,7
Gartenbohne	1,3	11,4	0,2	0,3	14,2	0,5	2,2	2,5	0,1	32,2
Wicke	1,1	11,4	0,4	0,8	9,3	2,4	2,5	2,8	0,4	31,0
Lupine	3,7	16,4	0,1	0,3	13,1	0,3	3,2	5,2	0,3	42,6
Rotklee	1,1	17,1	0,6	0,6	15,9	0,4	2,9	5,8	0,8	45,0
Weissklee	1,9	13,6	0,9	0,6	14,5	0,2	2,9	4,5	0,8	39,7
Esparsette	1,5	10,9	0,4	0,6	13,0	1,3	14,4	3,0	0,7	45,7
Zuckerrübe	2,4	8,8	1,0	2,2	13,0	4,9	11,9	8,6	0,2	53,0
Sommerrübsen	2,6	16,9	—	—	8,7	—	5,9	5,3	0,2	39,7
Mohn	1,2	18,9	2,0	2,8	8,2	0,6	21,4	5,7	0,3	60,4
Lein	0,9	15,3	0,5	0,06	11,3	0,8	3,0	5,3	0,4	36,9
Hanf	0,1	19,2	6,3	0,04	10,7	0,4	12,5	3,0	0,5	52,7
Traubenkerne	0,9	7,8	0,3	0,1	7,8	0,5	6,3	1,6	0,1	25,5
Eicheln	0,9	3,3	0,2	0,4	14,0	0,1	1,5	1,2	0,2	21,8
Bucheln	0,6	5,3	0,5	0,1	5,8	2,5	6,2	3,0	0,7	25,4
Apfel (ganze Frucht)	0,9	2,0	0,6	—	5,1	3,8	0,6	1,3	0,2	14,4
Birne (do.)	1,1	3,0	0,3	—	10,8	1,7	1,6	1,0	0,2	19,7
Kirsche (do.)	1,1	3,5	1,0	0,3	11,4	0,5	1,6	1,2	0,4	22,0
Echte Kastanie (Kern)	0,9	4,3	0,4	0,1	13,5	1,7	0,9	1,8	0,03	23,8
Mandel	0,2	21,4	—	—	13,7	0,1	4,3	8,7	0,3	49,0

IV. Wurzeln und Knollen.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Eisenoxyd	Gesamt-Asche.
Kartoffel	2,5	6,5	0,8	1,2	22,8	1,0	1,0	1,8	0,5	37,7
Topinambur	2,4	6,8	4,9	1,9	23,3	5,0	1,6	1,4	1,8	48,8
Futterrunkel	2,3	6,5	1,6	7,6	39,6	12,3	2,8	8,3	0,6	75,8
Zuckerrübe	1,5	4,2	0,7	2,0	21,3	3,9	2,1	2,9	0,4	38,6
Turnips	9,0	10,2	1,5	4,1	36,4	7,9	8,5	3,0	0,7	80,1
Möhre	3,8	7,0	1,4	2,9	19,6	12,3	6,4	2,6	0,6	55,8
Cichorie	2,7	4,2	1,7	3,7	12,8	5,2	2,4	1,6	0,8	33,5
Erdkohlrabi	9,2	10,9	0,7	5,8	29,3	7,4	8,3	1,9	0,3	72,6
Krappwurzeln	1,4	4,3	1,9	3,3	25,4	3,4	16,3	3,9	0,9	59,3
V. Blätter der Wurzelgewächse.										
Kartoffel (unreif)	4,4	6,9	6,6	5,0	25,4	1,4	29,1	13,4	3,4	94,2
„ (fast reif)	5,4	6,8	3,7	3,7	18,7	2,0	28,0	14,2	2,5	85,8
Topinambur	1,1	3,7	18,1	2,0	15,6	0,8	24,9	6,3	0,6	72,6
Futterrunkel	9,1	8,3	5,5	22,6	46,7	30,8	16,9	14,4	2,2	151,8
Zuckerrübe	7,9	7,1	15,1	12,6	39,1	20,5	30,1	16,9	0,8	148,8
Turnips	10,9	8,5	4,5	11,8	27,3	11,0	38,3	4,6	1,8	116,4
Möhre	10,1	6,0	15,2	12,1	15,2	26,8	44,3	4,7	3,4	135,3
Cichorie	9,5	6,9	3,8	17,8	28,8	19,4	21,6	2,7	2,1	109,8
Erdkohlrabi	19,7	17,5	17,7	12,8	24,3	6,6	56,2	6,7	10,2	168,8
Weisskraut	20,6	12,2	1,8	10,4	55,1	7,5	27,3	5,3	1,4	139,2
VI. Verschiedene Handelsgewächse.										
Tabaksblättter	7,1	5,8	16,4	9,6	37,0	6,2	76,7	21,6	5,6	184,1
Maulbeerblätter	2,0	8,5	27,1	1,3	26,0	1,5	35,7	6,9	1,2	108,9
Theeblätter	3,8	7,3	5,4	1,0	13,5	10,6	4,9	3,4	5,1	54,8
Hopfen (ganze Pflanze)	3,3	6,8	15,5	4,3	20,8	2,2	22,9	8,1	1,7	84,8
„ (Dolden)	2,7	12,7	12,6	2,5	26,2	1,7	12,6	4,2	1,1	75,9
Traubenmost	1,5	3,9	0,8	0,3	19,2	0,4	1,7	1,2	0,4	29,5
VII. Stroh.										
Winterweizen	1,3	2,6	36,3	0,9	7,3	0,7	3,1	1,3	0,3	53,7
Sommerweizen	1,4	2,3	21,2	1,0	12,9	1,2	3,1	1,1	0,3	44,5
Winterspelz	1,4	3,0	42,0	0,6	6,1	0,3	3,4	1,5	0,5	58,5
Winterroggen	1,3	2,5	27,0	1,2	9,2	1,0	4,1	1,3	0,5	47,9
Sommerroggen	1,8	3,3	29,5	—	13,7	0,1	4,7	1,4	—	54,5
Gerste	1,8	2,2	25,0	1,1	11,0	2,0	3,7	1,3	0,3	48,0
Hafer	2,3	3,3	33,5	3,1	20,7	2,4	5,0	2,6	0,8	71,7
Mais	2,8	4,4	15,4	0,8	19,4	0,6	5,8	3,0	1,2	53,3
Buchweizen	3,3	7,3	3,4	4,9	28,8	1,4	11,3	2,3	—	61,5
Erbse	3,2	4,1	3,5	2,9	11,8	2,1	18,9	4,1	0,9	51,3
Ackerbohne	1,9	4,0	3,9	3,1	22,6	1,3	12,0	4,1	0,7	53,5
Gartenbohne	2,0	4,6	2,3	3,7	15,3	3,8	13,2	3,0	0,5	47,9
Futterwicke	3,9	3,2	4,3	2,6	7,5	8,2	18,5	4,4	0,8	52,5
Lupine	4,5	3,0	1,5	1,7	21,1	1,5	11,6	4,0	1,3	50,7

VIII. Streumaterialien.	Schwefelsäure	Phosphorsäure	Kieselsäure	Chlor	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Eisenoxyd	Gesamt-Asche
Rohrschilf	0,7	2,8	24,4	1,6	8,3	0,3	4,1	1,3	0,8	44,7
Binsen und Simsen	1,6	5,0	7,9	7,4	22,1	3,7	4,2	3,6	2,0	55,9
Buchenblätter (Aug.)	0,8	4,0	8,5	0,2	8,2	1,0	14,2	3,0	0,6	42,2
„ (abgestorb.)	2,5	2,9	23,2	0,3	2,7	0,4	31,1	4,1	0,7	68,8
Eichenblätter (Aug.)	1,0	4,3	1,5	0,04	11,6	—	9,1	4,7	0,4	35,0
„ (abgestorb.)	2,2	4,0	15,2	—	1,6	0,3	23,8	1,9	0,3	49,0
Kiefernadeln (am Baum)	3,1	1,4	0,9	0,7	5,8	0,2	4,6	1,3	1,4	19,3
Fichtennadeln (do.)	0,7	3,8	5,1	0,3	7,5	0,4	5,2	2,0	0,4	25,5
Moos	1,3	1,2	7,4	1,3	3,5	2,2	3,0	1,5	3,0	25,6
Farrenkraut	2,4	5,5	13,7	5,3	24,1	2,7	8,3	4,7	1,1	67,6
Haidekraut	0,9	1,4	6,2	0,5	2,7	1,4	4,5	2,0	0,9	20,8
Besenpfriemen	0,6	1,5	1,7	0,3	6,5	0,4	2,9	2,1	0,8	18,1
Seegras	32,1	4,7	3,1	26,7	19,4	34,2	20,3	12,2	1,2	149,1
IX. Hölzer.										
Buche	0,1	0,7	0,1	—	1,4	0,1	1,3	0,6	0,05	4,6
Eiche	0,1	0,8	0,03	—	1,6	0,1	1,1	0,8	0,03	4,8
Birke	0,1	0,5	0,1	—	0,8	0,1	1,0	0,6	0,03	3,3
Weisstanne	0,04	0,2	0,03	—	1,0	0,02	0,3	0,2	0,02	2,4
Fichte	0,1	0,1	0,1	—	0,4	0,03	0,7	0,2	0,03	2,1
Kiefer	0,1	0,2	0,1	—	0,4	0,03	1,6	0,3	0,01	3,0
Lärche	0,04	0,1	0,1	—	0,4	0,03	0,8	0,2	0,05	1,7
X. Rinden.										
Eiche	0,5	1,4	0,4	0,1	2,3	0,4	24,1	1,6	0,4*)	31,5
Birke	0,1	1,2	0,8	0,01	1,9	0,1	6,8	1,2	0,1	13,8
Weisstanne	0,5	1,5	0,7	—	3,9	0,1	2,6	1,3	0,7	19,0
Fichte	0,4	0,5	1,6	0,01	1,6	0,3	7,9	0,9	0,5	15,8

Wolff hat ferner folgende Durchschnittszahlen der Aschenprozente für die einzelnen Gruppen von Kulturgewächsen hergeleitet**):

	Körner	Stroh
Halmfrüchte	2 %	5,3 %
Leguminosen	3 „	5 „
Ölpflanzen	4 „	4,5 „

ebenso folgende noch allgemeinere Durchschnittszahlen:

*) Die Rinden enthalten ferner noch mehr wie die Hölzer grössere Mengen von Manganoxyd.

**) Siehe dessen: Die naturgesetzl. Grundl. d. Ackerb., III. Aufl., p. 117.

Ein- und zweijährige Pflanzen		Perennierende Pflanzen	
Samen	3 %	Samen	3 %
Stengel	5 „	Holz	1 „
Wurzeln	4 „	Rinde	7 „
Blätter	15 „	Blätter	10 „ .

Die wichtigsten in den letzten vier Vorlesungen erkannten Thatsachen können ungefähr durch folgende Sätze ausgedrückt werden:

1) Alle Pflanzen enthalten ausser Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff noch andere Elemente, deren Anwesenheit sich ergiebt durch die Einäscherung der Pflanze.

2) Es ist nicht möglich, ohne Anwesenheit solcher anderen, nicht flüchtigen Elemente die Pflanze gedeihlich fortzubringen. — Aschenbestandteile sind für die Pflanze unentbehrlich.

3) Verschiedene Pflanzen und Pflanzenteile haben, trotz vieler Übereinstimmung innerhalb grosser Gruppen, im allgemeinen qualitativ und quantitativ verschiedene Aschenbestandteile zu ihrem Gedeihen notwendig.

4) Der Bedarf an einzelnen Aschenbestandteilen richtet sich, wie wir vermuten müssen und soweit wir sehen können, nach den physiologischen Funktionen, die in der Pflanze vollzogen werden.

5) Die unter allen Umständen unentbehrlichen Aschenbestandteile der höheren chlorophyllhaltigen Pflanzen sind: Phosphor, Schwefel, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen. In den meisten Fällen nicht zu entbehren ist auch das Chlor.

6) Für manche dieser Pflanzen scheinen noch andere Aschenbestandteile unentbehrlich, für viele noch andere nützlich zu sein.

7) Einige bei der Vegetation unter natürlichen Verhältnissen regelmässig in den Pflanzen sich vorfindenden Aschenbestandteile sind als zufällige Bestandteile derselben anzusehen.

8) Alle Aschenbestandteile werden von den Gewächsen nur in hochoxydierter Form als neutrale oder schwach saure Salze aufgenommen.

9) Eine Substitution einzelner unentbehrlichen Aschenbestandteile untereinander ist im engern Sinne eine contradictio in adjecto, im weitern Sinne wohl im allgemeinen aber noch nicht in jedem besonderen Falle völlig erwiesen.

10) Ausser den (chemisch) individuell unentbehrlichen Aschenbestandteilen hat man noch wirksame Aschenbestandteile der Pflanze zn unterscheiden, die nicht nach Elementen namhaft zu machen sind, sondern wovon nur eine Summe im

einzelnen zuweilen entbehrlicher Bestandteile erforderlich ist, um die Pflanze zur normalen Entwickelung zu bringen.

11) Die Bedeutung aller unentbehrlichen Aschenbestandteile ist für die Pflanzen dieselbe, sodass die Vegetation bei Überfluss aller übrigen Bedingungen durch den im Verhältnis zu seinem Wirkungsäquivalent in geringster Menge vorhandenen reguliert wird.

Vierter Abschnitt.

Die Gesetze der Stoffaufnahme.

Zwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Theorie der Membrandiffusion.

Wir sind in dem Lauf der hinter uns liegenden Vorlesungen zur Kenntnis aller der Grundstoffe gelangt, aus denen der Pflanzenleib sich aufbaut, und haben zugleich gesehen, in welchen chemischen Verbindungen die Assimilation dieser einzelnen Stoffe erfolgt. Wir gehen heute zu einem andern neuen Gegenstand über, zur Betrachtung des Akts der Aufnahme dieser Verbindungen in die Pflanze. Auch das Studium dieser Vorgänge wird nötig sein, um die Abhängigkeit der Pflanze in ihrer Ernährung von den sie in der Natur umgebenden Medien erkennen zu lassen; und von dieser Erkenntnis wiederum ist es offenbar abhängig, ob aus der theoretischen Behandlung der Pflanzenernährung für die landwirtschaftliche Praxis des Pflanzenlebens Nutzen gezogen werden kann oder nicht.

An die Spitze dieser neuen Betrachtungen kann der Grundsatz gestellt werden, der in der Chemie des Mittelalters eine grosse Rolle spielte: *Corpora non agunt nisi fluida*; d. i.: Nur Körper in flüssigem Zustand machen chemische Wirkungen geltend. — Für die Aufnahme der Pflanzennährstoffe gilt genau dasselbe; auch hier lässt sich aussprechen, *nur in flüssiger Form können neue Stoffe von der Pflanze aufgenommen und assimiliert werden.* Dieser Satz erleidet überhaupt keinerlei Einschränkung auf dem ganzen Gebiete der Stoffaufnahme durch das ganze weite Reich der Organismenwelt.

Das behauptete Verfahren findet nun seine Erklärung, wenn hinzugesetzt wird, dass — wie aus einem einfachen Überblick über die anatomischen Verhältnisse mit vollkommener Deutlichkeit hervorgeht — alle die Räume in der Pflanze, in denen wirkliche physiologische Prozesse vollzogen werden, von der Aussenwelt durch eine Membran oder eine Reihe von Membranen getrennt sind*). Es ist einfach dieses Verhältnisses halber für jeden Stoff, welcher Einlass in jenes „physiologische Innere" der Pflanze begehrt, eine *unumgängliche Notwendigkeit, den flüssigen Zustand*

*) Die Binnenräume in der Pflanze, die nach aussen hin nicht durch Membranen verschlossen sind, sondern mit der Umgebung kommunizieren, wie Atemhöhe, Intercellularräume, sind niemals der Sitz von Erscheinungen, die sich nicht an einem beliebigen andern unorganisierten Orte wiederholen liessen, sondern nur von solchen, die nach der alten Ausdrucksweise nicht unter dem Einflusse der Lebenskraft stehen. Diese Räume verhalten sich ziemlich analog den ebenfalls nach aussen kommunizierenden Binnenräumen bei den höheren Tieren, dem Verdauungskanal etc., in denen sich auch nur chemisch leicht verständliche und nachzuahmende Prozesse vollziehen.

anzunehmen, sei es nun den tropfbar oder elastisch flüssigen Zustand. Da nun kein Stoff als Nährstoff wirken kann, ohne an jenen Lebensprozessen teilzunehmen, so ist die Notwendigkeit für einen jeden Nährstoff ersichtlich, die flüssige Form sich zu eigen zu machen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass wir, um uns eine Vorstellung von den Bedingungen der Stoffaufnahme zu bilden, die Gesetze des Durchgangs von Flüssigkeiten verschiedener Art durch Membranen, namentlich pflanzliche Membranen, zu studieren haben werden. Sehen wir uns jedoch vorher die Verhältnisse, wie sie in der Pflanze liegen, noch etwas näher an, um einen Anhaltspunkt in Bezug darauf zu besitzen, welcher Art des Durchgangs durch Membranen wir besonders unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden haben.

Alle physiologisch chemischen Prozesse der Pflanze *wickeln sich ab in dem flüssigen Inhalt des Elementarorgans, der vegetabilischen Zelle.* Soll ein neuer Stoff in eine solche von einer Membran umschlossene Flüssigkeitsmasse eintreten, so sind nur zwei Fälle möglich; entweder grenzt die Membran nach aussen hin an ein gasförmiges, oder sie grenzt an ein Medium von tropfbar flüssiger Form. — Dies sind die beiden Fälle, welche bei der Betrachtung des Durchgangs flüssiger Körper durch Membranen in der Pflanze wesentlich in Betracht kommen, und welche wir beim Studium jener merkwürdigen Erscheinungen besonders ins Auge zu fassen haben.

Soll eine Flüssigkeit irgend welcher Art durch eine Membran*) d. h. durch einen eingeschalteten festen Körper von verhältnismässig dünnem Querschnitt, der Poren besitzt, die jedenfalls zu klein sind, um eine tropfbare Flüssigkeit leicht filtrieren**) zu lassen, hindurchgehen, so muss in allen Fällen ein bewegendes Moment vorhanden sein. Ein solches bewegendes Moment kann bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke nur bestehen in einer *Ungleichheit der chemischen Mischung* diesseits und jenseits der Membran. Diese letztere kann unmöglich den Anstoss zur erfolgenden Bewegung geben, und eine solche würde auch ohne Einschaltung einer Membran stattfinden, wenn auch durch eine solche Einschaltung die Art der Bewegung in allen Fällen verändert wird. Es ist deshalb für ein aufmerksames Studium der Erscheinungen des Durchgangs von Flüssigkeiten durch Membranen unerlässlich, die Bewegung, die in jedem einzelnen Falle ohne Einschaltung einer Membran stattfinden würde, zuerst ins Auge zu fassen, um so den Unterschied zu konstatieren, der durch jene Einschaltung bewirkt wird.

Wir werden uns also die Frage zu stellen haben: *Was tritt in zwei nebeneinander sich befindenden Flüssigkeiten ein, die durch keine Membran getrennt sind, wenn sie chemisch verschieden sind?*

Suchen wir diese Frage zunächst für zwei *Gase* zu beantworten. — Der luftförmige Zustand ist nach der vielbewährten mechanischen Wärmetheorie der Zustand, in welchem die einzelnen Moleküle des gasigen Körpers so weit voneinander entfernt

*) Die präzisere Erläuterung der Eigenschaften einer Membran folgt später p. 322.

**) Unter Filtrieren einer tropfbaren Flüssigkeit durch einen porösen festen Körper ist zu verstehen: das Hindurchgehen derselben in unveränderter Mischung unter einem einseitigen hydrostatischen Drucke.

sind und so grosse Bewegungen ausführen, dass die Bahn, die sie beschreiben, nicht unter dem Einfluss der Anziehung der übrigen Moleküle steht. Daraus folgt, dass die Moleküle eines elastisch flüssigen Körpers Bewegungen ausführen, die durch nichts*) in Schranken gehalten werden können als durch den Widerstand, den feste und tropfbar flüssige Körper ihnen entgegensetzen. — Wir drücken dieses Verhalten gewöhnlich so aus, dass wir sagen: *Die Gase erfüllen jeden ihnen zur Verfügung gestellten Raum gleichmässig und sind vollständig miteinander mischbar.*

Daraus folgt nun das Verhalten, welches zwei nebeneinander befindliche Gase, die durch keine Wand voneinander getrennt sind, sich gegenüber beobachten. Ist zwischen zwei solchen Gasen eine chemische Differenz vorhanden, so sind nach den eben für den elastisch flüssigen Zustand gegebenen Erörterungen die Moleküle des einen Gases keine Schranken für die Bewegungen der Moleküle des andern. — Nach einiger Zeit tritt vollkommene Mischung beider Gase ein.

Ist zwischen zwei solchen von keiner Scheidewand getrennten Gasen eine Druckdifferenz vorhanden, so wird bei den schrankenlosen Bewegungen der Gasmoleküle innerhalb des gemeinschaftlich gewährten Raumes ebenso ein vollkommener Ausgleich erfolgen müssen. Das unter einem höheren Drucke befindliche Gas enthält auf gleiche Raumteile (nach den einfachen Verhältnissen, wie sie das Mariotte'sche Gesetz angiebt) mehr Moleküle als das unter einem geringeren Drucke befindliche; jenes wird also bei der Bewegung der einzelnen Moleküle in allen denkbaren Richtungen in derselben Zeit mehr Moleküle nach dem von dem verdünnteren Gase angefüllten Raumteile senden, als dieses umgekehrt zurücksenden wird; und dieses Verhältnis wird notwendig so lange dauern müssen, bis die Anzahl der Moleküle in jedem Raumteil die gleiche ist oder, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, die Druckdifferenz sich völlig ausgeglichen hat**).

Um nun die Abänderung zu verstehen, welche in diesem gegenseitigen Verhalten zweier Gase durch Einschaltung einer nicht absolut undurchdringlichen Scheidewand bewirkt wird, müssen wir noch ein wenig weiter ausholen und von den *Geschwindigkeiten* reden, welche den Molekülen chemisch differenter Gase eigentümlich sind.

Nach der Theorie der Gase besteht die *Gleichheit der Temperatur* zweier Gase *in der Gleichheit der lebendigen Kräfte der in der Volumeinheit enthaltenen Moleküle****). In der Volumeinheit eines Gases sind aber bei gleicher

*) Wenn wir von der Gravitation absehen, die allerdings auch der Zerstreuung der vergasten Moleküle ins Unendliche eine gewisse Grenze setzt, aber für unsere Betrachtungen ausser acht gelassen werden kann.

**) In Wahrheit freilich geschieht der Ausgleich des Drucks bei Abwesenheit membranartiger Scheidewände nicht durch Molekular-, sondern schon lange vorher durch Massenbewegung, wie schon aus der verhältnismässigen Raschheit dieses Ausgleichs hervorgeht.

***) Dieser Satz wird durch die Feststellung der Molekularwärmen scheinbar nicht bestätigt. Die Molekularwärme verschiedener Gase ist faktisch sehr ungleich gefunden und zwar beinahe regelmässig steigend mit der Atomzahl ihrer Moleküle. Die Ursache dieser sehr beträchtlichen Abweichung liegt offenbar darin, dass ausser der gradlinigen Molekular-

Temperatur und gleichem Druck nach der wohlfundierten Hypothese von Avogadro *gleichviel Moleküle* enthalten, so dass bekanntlich das Verhältnis der spezifischen Gewichte bei vollkommenen Gasen zugleich das Verhältnis ihrer Molekulargewichte ausdrückt. Jene Aussage setzt mithin voraus, dass jedes *Molekül* eines Gases, gleichviel von welcher chemischen Natur, bei gleicher Temperatur eine und dieselbe lebendige Kraft besitze. Da indessen diese Molekule je nach ihrer chemischen Natur sehr *verschieden schwer* sind, also das gleiche Volum ungleicher Gase bei derselben Temperatur und demselben Drucke *verschiedene Massen* einschliesst, und da die lebendige Kraft irgend eines bewegten Körpers unter allen Umständen gemessen werden kann durch dessen halbe Masse und das Quadrat seiner Geschwindigkeit, so geht aus der Gleichheit zweier Gasmoleküle:

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{MC^2}{2},$$

wo m,M die Massen der Moleküle verschiedener Gase, c,C die mittlere Geschwindigkeit dieser Moleküle bezeichnen, hervor, dass

$$c = C\sqrt{\frac{M}{m}},$$

d. h. dass die Geschwindigkeit irgend eines Gasmoleküls gleichgesetzt werden kann der Geschwindigkeit irgend eines Moleküls eines beliebigen andern Gases, multipliziert mit der Quadratwurzel des Verhältnisses ihrer Massen, d. h. (bei unserer Methode, diese Dichtigkeiten zu bestimmen) also auch der spezifischen Gewichte beider Gase.

Dieser wichtige Satz lässt sich noch einfacher so ausdrücken: *Die Molekulargeschwindigkeiten vollkommener Gase von gleicher Temperatur verhalten sich umgekehrt proportional der Quadratwurzel ihrer spezifischen Gewichte oder ihrer Molekulargewichte.*

Um ein Beispiel dieses Verhaltens zu geben, wollen wir die Molekulargeschwindigkeiten zweier bekanntester Gase betrachten. Der eben mitgeteilte Satz sagt aus, dass diese Geschwindigkeiten sich verhalten müssen umgekehrt proportional wie die Quadratwurzeln der spezifischen oder der Molekulargewichte der betreffenden Gase. Das Molekulargewicht des Wasserstoffs gleich 1 gesetzt, ist das des Sauerstoffs gleich 16. Es folgt also, dass die Geschwindigkeit des Sauerstoffmoleküls $\sqrt{16} =$ 4mal so klein sein muss als die des Wasserstoffmoleküls (die Gleichheit der Tem-

bewegung, welche die ursprüngliche Wärmetheorie statuierte, auch intramolekulare Atombewegungen von sehr mannigfaltiger Art bestehen können, die ebenso wie jene mit der Temperatur ansteigen und wozu also Wärme verbraucht wird. Vergl.: Horstmann: Theoret. Chemie, 1885, p. 485. Übrigens ist die Molekularwärme der zunächst im Texte erwähnten einfachen oder binär zusammengesetzten Gase thatsächlich dieselbe und nur die der ternär zusammengesetzten Kohlensäure ansehnlich grösser, so dass in gewisser Einschränkung die Gesetzmässigkeit auch aus den spezifischen Wärmen der Gase sich ableiten lässt.

Aber auch soweit die Bestätigung von dieser Seite her ausbleibt, ist der im Texte vorangestellte Satz doch richtig, indem er steht und fällt mit der mechanischen Wärmetheorie, die mit allen Thatsachen in Übereinstimmung ist.

peraturen immer vorausgesetzt). Die Berechnung*) ergiebt für die Molekulargeschwindigkeiten bei 0° für eine Sekunde:

beim Sauerstoff = 461 Meter,
„ Wasserstoff = 1844 „

woraus also das Gesagte noch verständlicher werden wird.

Direkte experimentelle Bestimmungen der relativen Molekulargeschwindigkeiten der Gase, die z. B. so ausgeführt werden können, dass man durch poröse Körper eigentümlicher Beschaffenheit Gase von verschiedenen spezifischen Gewichten unter Druck überströmen lässt, ergeben fast genau die gleichen Verhältniszahlen. — Von den Substanzen, welche zu diesen Versuchen verwendet werden können, werden wir gleich nachher zu sprechen haben.

Die Temperatur, welche die lebendigen Kräfte der Gase erhöht, vergrössert natürlich, da sie die Massen zu vermehren nicht im stande ist, die Molekulargeschwindigkeit.

Ohne den eben hergeleiteten Satz von der Abhängigkeit der Molekulargeschwindigkeit von dem spezifischen Gewichte der Gase zu kennen, lassen sich nicht wohl die Vorgänge beim Durchgang der Gase durch poröse Scheidewände im Zusammenhange begreifen.

Wir kehren wieder zur Betrachtung der Vermischung chemisch verschiedener Gase zurück, denken uns nun aber zwischen die beiden Gase eine Scheidewand eingeschaltet. Diese Scheidewand soll ein trockener poröser Körper sein, dessen Substanz keine spezifischen Anziehungskräfte gegen die ins Spiel kommenden Gasarten geltend macht. Die Poren werden so fein gedacht, dass nur Molekül für Molekül seinen Durchgang findet, grössere Gasmassen durch einen der feinen Kanäle niemals gleichzeitig passieren können. — Was wird vor sich gehen? — Die Moleküle der beiden Gase werden von beiden Seiten mit den ihnen eigentümlichen Geschwindigkeiten in die Poren eintreten, die Moleküle des leichteren Gases also mit grösserer Geschwindigkeit wie die des schwereren; und jene werden auch mit grösserer Geschwindigkeit in den Raum jenseits der Scheidewand eindringen, so dass für die aus dem Raume, den zu Anfang des Vorgangs das leichtere Gas allein erfüllte, entweichenden Moleküle nur ein ungenügender Ersatz eintritt.

Man sieht, was der Erfolg sein muss. Auf der Seite der Membran, wo zu Anfang das schwerere Gas sich befand, wird eine Anhäufung von Molekülen, eine *Verdichtung der Gasmassen*, *eine Druckvermehrung*, auf der entgegengesetzten Seite eine *Druckverminderung* die unausbleibliche Folge sein. — Allein um zu sehen, ob eine solche Druckdifferenz, die eigentlich ja auch im ersten Augenblicke bei der freien Vermischung verschiedener Gase eintreten müsste, einen merklichen Wert erreichen kann, haben wir das Verhalten zweier verschieden gepresster, durch eine poröse Scheidewand voneinander getrennter Gase gleichfalls zu berücksichtigen.

Wir machten die Annahme, deren Notwendigkeit sehr bald eingesehen werden wird, dass die Poren der Scheidewand so eng sein sollten, dass nur einzelne Mole-

*) Vergl. Naumann: Thermochemie, p. 34—35.

küle, nicht Gasmassen durch sie hindurchzutreten im stande wären. Halten wir an dieser Annahme fest und überlegen, in welcher Weise eine solche Scheidewand sich einem ungleichartigen Drucke eines und desselben Gases gegenüber verhalten wird. Wir müssen vor allem uns daran erinnern, dass in einem Gase durch Erhöhung des Drucks die Molekulargeschwindigkeiten desselben ganz und gar nicht gesteigert werden, sondern dass dabei lediglich dadurch die lebendige Kraft der Molekularbewegung für die Volumeinheit vermehrt wird, dass die Anzahl der mit der vormaligen Geschwindigkeit sich bewegenden Moleküle eine grössere wird. Wären nun allerdings die Kanäle, durch welche die beiden verschieden dichten, aber chemisch gleichen Gase miteinander kommunizieren, von grosser Weite, z. B. Kapillaren von sichtbarem Lumen, so würden durch diese Kanäle hindurch Massenbewegungen der Gase eintreten, und der Ausgleich der Druckdifferenz würde bald erfolgen.

Allein wir haben es in der Scheidewand mit Poren von solcher Enge zu thun, dass nur einzelne Moleküle hindurchpassieren können, und nun können wir uns leicht von dem Vorgang, der eintreten muss, eine Vorstellung bilden. — In einem Gase, welches unter einem höheren Druck steht, ist die Wahrscheinlichkeit, dass Moleküle auf die engen Kanäle treffen, grösser als in einem, das unter einem niedrigeren Drucke sich befindet, und zwar proportional der grösseren Anzahl der in jenem enthaltenen Moleküle. — *Der Übertritt von Gasen durch poröse Scheidewände ist* also bei Gleichheit der übrigen Bedingungen *proportional den auf sie lastenden Drucken.*

Dieser Satz, der eine sehr vollkommene experimentelle Bestätigung erfahren hat, ist nun für uns insofern von Interesse, als dadurch die Diffusionserscheinungen infolge von chemischer Differenz der zu beiden Seiten der Scheidewand befindlichen Gase wesentlich modifiziert werden. Wir hatten gerade eben gesehen, dass diese Erscheinungen Druckdifferenzen hervorzurufen im stande sind, und da naturgemäss gerade auf jener Seite der porösen Wand ein erhöhter Druck eintreten muss, wo sich ursprünglich das weniger diffusible Gas befand, so ist klar ersichtlich, dass jener Druck gerade die entgegengesetzte Diffusionsrichtung veranlassen muss, d. h. dass die Druckdifferenz sich nur bis auf eine gewisse Grösse erheben kann, dann aber wieder abnehmen muss. — Dies hervorzuheben ist nicht ganz unnütz, da wir nachher bei den tropfbaren Flüssigkeiten, trotz der sonstigen Analogie, Abweichungen von diesem Verhalten begegnen werden, einfach weil dort der höhere Druck keine proportionale Vermehrung der Moleküle in der Volumeinheit bewirkt und nach der von uns gewonnenen und durchaus bewährten Vorstellung lediglich von der grösseren Anzahl der auf die Scheidewand treffenden Moleküle jene Einwirkung abhängig ist.

Man hat nun in der That eine Reihe von feinporigen Substanzen ausgemittelt, die sehr vollkommen jene ideelle Beschaffenheit zu besitzen scheinen, denn sie leisten in der That das, was die Theorie nach der gemachten Annahme voraussehen lässt. Künstlich gepresster Graphit, Biskuit*) etc., also ganz verschiedenartige Substanzen liessen, als Scheidewand gebraucht, die einzelnen Gase im umgekehrten Verhältnis der Quadratwurzeln ihrer spezifischen Gewichte durch. Auch Gipsplatten**) ver-

*) Vergl. Graham: Jahresber. f. Chem., 1863, p. 20. 21.

**) Vergl. namentlich Bunsen: Gasometr. Methoden, p. 209—242, und Graham: A. a. O., p. 21.

halten sich ähnlich, obschon hier die Erscheinung durch andere nebenherlaufende Vorgänge*) einigermaassen getrübt wird. Der Gasaustausch erfolgt durch solche Scheidewände mehr oder weniger annähernd der Quadratwurzel ihrer spezifischen Gewichte umgekehrt proportional, und zugleich leisten die Scheidewände der Engigkeit ihrer Poren wegen dem Gasdruck einen so erheblichen Widerstand, dass die infolge des ungleichen Austausches entstehenden Druckdifferenzen einen hohen Wert erreichen und sehr deutlich sichtbar gemacht werden können.

Suchen wir uns dieses Verhalten durch einen kleinen Versuch anschaulich zu machen. Ich habe hier (Fig. 18) eine oben mit einem dicken Gipspfropfen a verschlossene Glasröhre. Der Pfropf ist indessen noch ein kleines Stück von dem Ende der Glassröhre entfernt, so dass noch die Möglichkeit bleibt, dieselbe mit einem völlig unporösen Körper, einem eingeriebenen und gefetteten Glasstöpsel b, zu verschliessen. Ich setze diesen Stöpsel auf und leite nun aus einem mit Wasserstoffgas gefüllten Gasometer mittelst eines seitlichen Glasrohrs c, das an meine aufrecht gehaltene verschlossene Röhre angelötet ist, in raschem Strome Wasserstoffgas, das nun die schwere Luft verdrängt, welche letztere unten bei d, wo die Röhre in eine gefärbte Flüssigkeit eintaucht, entweicht. Ich schliesse die Zuleitungsröhre mittelst eines Hahnes f, nehme den Glasstöpsel weg, und das Wasserstoffgas in der Röhre ist nur noch durch den porösen Gipspfropf von der äusseren Atmosphäre getrennt.

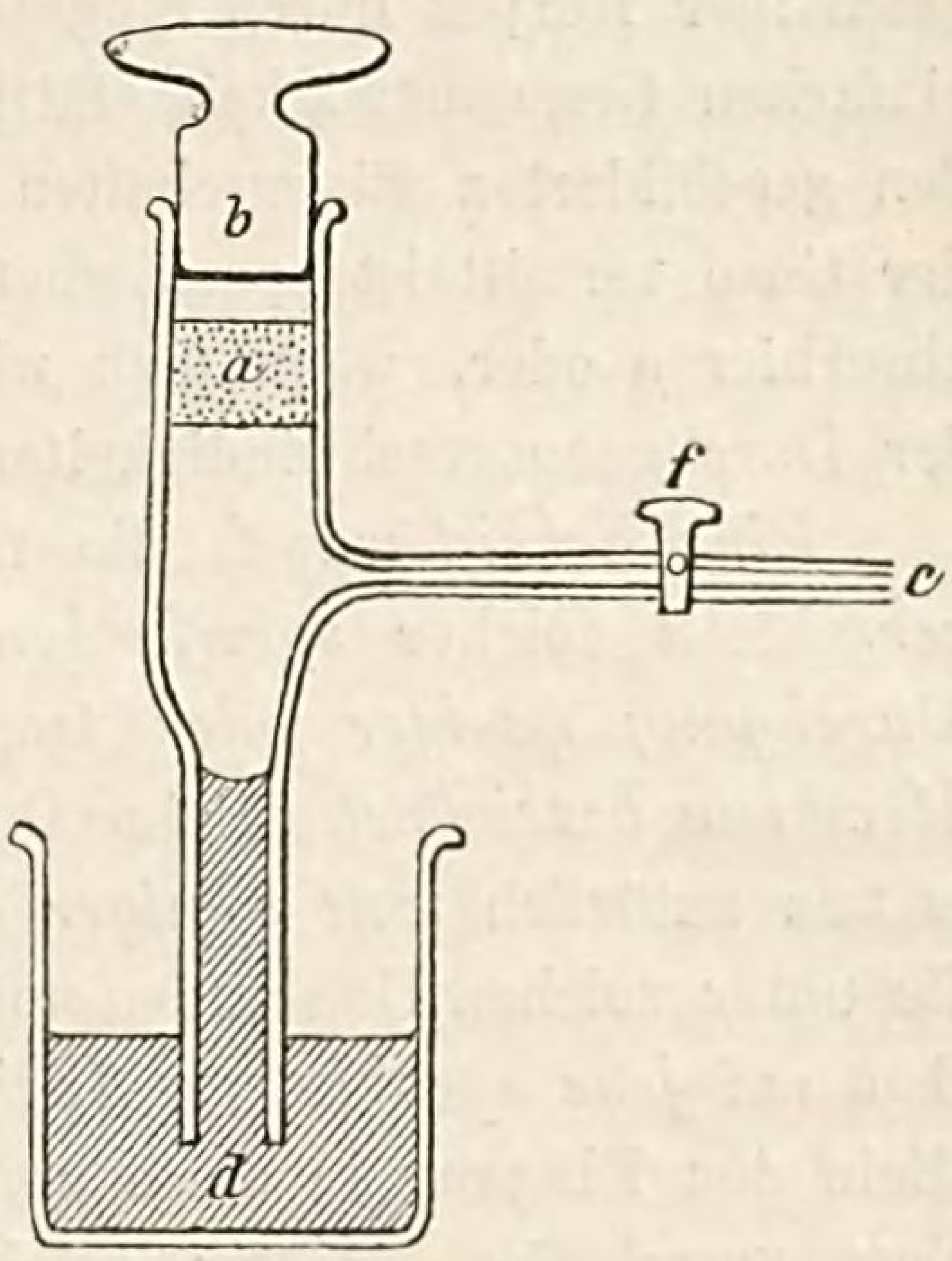


Fig. 18.

Aber sogleich ist auch das Resultat des Versuches wahrzunehmen, das in der Abbildung bereits dargestellt ist. Das Wasser steigt mit einer erheblichen Geschwindigkeit in der Glasröhre. Wir ersehen hieraus, dass ein weit grösseres Volum von Gas aus der Röhre durch die poröse Gipsmasse entweicht, als dafür von den atmosphärischen Gasen von aussen auf demselben Wege eintritt. — Dies leicht anzustellende Experiment, das für die verschiedensten Gase wiederholt werden kann, lehrt nun unwidersprechlich die Thatsache, deren theoretische Erläuterung wir soeben gegeben haben, dass nämlich ein leichteres Gas rascher eine poröse Scheidewand der benutzten Art zu durchdringen vermag als ein spezifisch schwereres, und dass auf diese Weise erhebliche Druckdifferenzen entstehen können, da die nämlichen porösen Wände dem Gasdrucke eine Zeit lang Widerstand zu leisten vermögen**).

Natürlich ist es auf diese einfache Weise nicht möglich, das früher theoretisch abgeleitete Gesetz, dass der Austausch umgekehrt proportional den Quadratwurzeln der

*) Vergl. Anm. ***), p. 323.

**) Ebenso empfehlenswert ist der Versuch mit porösen Thontiegeln, in denen ein Manometer luftdicht eingelassen ist und die ich in der Vorlesung in ein Becherglas gefüllt mit Kohlensäure zu tauchen pflege.

spezifischen Gewichte der diffundierenden Gase erfolgen muss, experimentell zu erweisen.

Für unsern Zweck ist von den angeführten Verhältnissen vorzüglich die ermittelte Thatsache von Wichtigkeit, dass die chemische Differenz zweier Gase, welche durch eine Scheidewand von den erläuterten Eigenschaften getrennt sind, *unter Ausgleichung dieser Differenz eine Druckdifferenz zu erzeugen vermag* — ein Verhalten, für das wir bei den Diffusionserscheinungen der tropfbaren Flüssigkeiten ein weit vollkommeneres Analogon finden werden. Das Studium der *reinen Diffusionserscheinung* bei Gasen, wie man den Vorgang, bei dem allein die Molekulargeschwindigkeiten in Betracht kommen, nennen kann, ist, obgleich wir demselben in jener Form in der Pflanze niemals begegnen werden, als elementarer Prozess, ohne dessen Verständnis alle die vielen komplizierten Gas- und Flüssigkeits-Diffusionserscheinungen dunkel bleiben müssen, dieser eingehenden Behandlung würdig gewesen.

Wir gehen nun weiter und heben zunächst hervor, dass nicht alle Vermischungen gasartiger Körper durch eingeschaltete Scheidewände nach dieser eben dargelegten einfachen Gesetzmässigkeit stattfinden. Wenn man statt eines porösen Körpers von den geschilderten Eigenschaften einen nicht porösen wählt, der aber die Moleküle der Gase vermittelst spezifischer Anziehungskräfte in sich aufzunehmen, in sich zu absorbieren oder, wenn man will, zu lösen vermag, so werden die Verhältniszahlen der Durchgangsgeschwindigkeiten der einzelnen Gase sofort andere.

Eine Scheidewand, die nicht porös im gröberen Sinne des Wortes ist, aber *vermittelst* solcher *spezifischen Anziehungskräfte* dennoch unter Umständen *den Durchgang gasiger oder tropfbar flüssiger Körper gestattet*, *wird als eine Membran bezeichnet.* Beim Durchgang von Gasen durch solche Membranen kommt es nun natürlich *weit weniger auf die Molekulargeschwindigkeiten* dieser Gase an, die unter solchen Umständen nur einen geringen Vorsprung gewähren können, sondern eben auf *jene spezifischen Anziehungskräfte* zwischen Gas und Membran, die jenem allein den Eingang in diese und somit auch die Gelegenheit des Durchgangs durch diese verschaffen. Unter solchen Umständen — und ganz ähnliche Verhältnisse werden wir bei der Diffusion der tropfbaren Flüssigkeiten antreffen — wird also die Erscheinung eine weit kompliziertere, und es lässt sich, ohne eingehendes Studium der spezifischen Anziehungskräfte einer jeden Membran, die Art und Weise des erfolgenden Gasaustausches, den man in diesem Falle als *Gasdialyse* bezeichnet, bis jetzt in keinem einzigen Falle theoretisch voraussagen.

Wenn man z. B. Gase durch Kautschukmembranen hindurchgehen lässt, so findet der Durchgang für verschiedene Gase mit ausserordentlich verschiedener Geschwindigkeit statt, aber in ganz anderen Verhältnissen als bei der Diffusion durch jene feinporigen Körper. Während bei dieser der Stickstoff als etwas leichteres Gas den Sauerstoff an Durchgangsgeschwindigkeit übertrifft, findet bei der Gasdialyse durch die Kautschukmembran gerade das Entgegengesetzte statt. So kann man z. B. auf diesem Wege (Durchpressen durch eine Kautschukmembran in den luftleeren Raum) die atmosphärische Luft schon durch die einmalige Dialyse so an Sauerstoff bereichern, dass dieselbe die gewöhnlichen Reaktionen dieses Gases giebt, z. B. ein glimmender Holzspan in dem Gemisch mit blendendem Glanze und Flamme verbrennt.

Ja die Kohlensäure, bei der reinen Diffusion wegen ihrer spezifischen Schwere eines der langsamst überströmenden Gase, geht durch die Kautschukmembran bei weitem am raschesten von allen bis jetzt untersuchten elastischen Flüssigkeiten hindurch, sogar weit rascher als Wasserstoff, obgleich dieser sie an Molekulargeschwindigkeit um das $\sqrt{22}$ fache übertrifft — eine Erscheinung, die sich eben nur durch die verhältnismässig grosse spezifische Anziehungskraft der betreffenden Membran zu den Molekülen der Kohlensäure erklären lässt.

Die Druckdifferenz, welche bei einer solchen Gasdialyse durch Kautschuk, z. B. für Sauerstoff und Stickstoff oder noch besser für Wasserstoff und Kohlensäure, eintreten würde, müsste natürlich gerade die umgekehrte sein als bei der reinen Diffusion dieser Gase ineinander, da diese membranartigen Stoffe, bei ihrem Mangel an eigentlichen Poren, sich gegen Druckdifferenzen als äusserst widerstandsfähig erweisen, und es ist z. B. ein Leichtes, einen kleinen Kautschukballon mit Wasserstoff gefüllt in einer Kohlensäureatmosphäre durch den verhältnismässig viel rascheren Übertritt dieses letzteren Gases zum Platzen zu bringen, während nach den Gesetzen der reinen Diffusion gerade das Umgekehrte (die Zusammendrückung des Ballons) geschehen müsste.

Ganz ähnlich wie die Substanz des Kautschuks verhalten sich manche glühenden Metalle den Gasen gegenüber. Beim Durchleiten von Gasgemischen durch glühende Platinröhren lassen sich einzelne Gase, namentlich Wasserstoff, durch Dialyse gleichsam absieben, wie schon Graham*) in seinen vortrefflichen Untersuchungen gezeigt hat; und wir müssen uns dieses eigentümliche Verhalten genau ebenso erklären, wie den Durchgang von Gasen durch Kautschukmembranen, d. h. aus spezifischen Anziehungskräften des nicht porösen glühenden Metalls, welches die Gasmoleküle in sich einlagert, wenn man will, sich mit ihnen legiert und ihnen so Gelegenheit giebt, die anscheinend dichte Masse zu durchdringen, wie denn in der That solche Verbindungen, wie z. B. von Palladium und Wasserstoff**), schon erhalten worden sind.

Auch an das Verhalten feuchter Membranen oder feuchter poröser Körper muss als an etwas Hierhingehöriges erinnert werden. In diesem Falle wird natürlich vor allem die spezifische Anziehungskraft des Wassers zu dem Gase oder die Absorbierbarkeit dieses letzteren in Wasser in Betracht kommen und den Vorgang modifizieren. — Gerade für den Gasaustausch der Organismen, deren Membranen unter allen Umständen mehr oder weniger wasserreich sind, kommt diese Mitwirkung des Wassers bei der Gasdiffusion sehr wesentlich in Betracht***).

*) Vergl. Jahresber. d. Chemie, 1866, p. 48 u. f.

**) Vergl. ebenda, p. 49.

***) Ein anderes Beispiel, auf das wir hier als auf ein uns weniger interessantes nicht einzugehen beabsichtigen, für den Durchgang von Gasen durch Scheidewände in einem andern Verhältnis als dem ihrer Molekulargeschwindigkeiten ist die (von Graham so genannte) Transpiration, d. i. Durchgang von Gasen durch poröse Scheidewände, deren Poren etwas weiter (ein System von Kapillarröhren) sind. In solchen weiteren Kanälchen geht nicht Molekül für Molekül einzeln hindurch, sondern grössere Gasmassen gleichzeitig, und

Man hat in der That experimentell zu zeigen vermocht, dass der Gasaustausch von Kohlensäure und atmosphärischer Luft durch ein Blatt hindurch, dessen Spaltöffnungen mittelst elektrischen Reizes verschlossen waren, eine Druckdifferenz zu Gunsten des letzteren Gasgemisches hervorzubringen vermag, also dass hier thatsächlich die Kohlensäure rascher diffundierte*). Auch der Sauerstoff erhält aus dem gleichen Grunde einen Vorsprung vor dem Stickstoff**).

Ganz ähnlich ist der Fall auch — und dieser eignet sich besonders zur Demonstration —, wenn die Membran aus einer dünnen Wasserhaut gebildet wird, wo es dann vorzugsweise auf die Absorptionskoeffizienten der Gase für Wasser ankommt. So lässt sich zeigen, dass eine mit Kohlensäure gefüllte Seifenblase in der Luft langsam zusammensinkt, eine mit Wasserstoff gefüllte anschwillt und platzt, trotzdem dass die blosse Diffusion nach Molekulargeschwindigkeiten das Entgegengesetzte voraussehen liesse***).

Diese von den Gesetzen der reinen Diffusion abweichenden Erscheinungen der Gasdialyse, welche von hoher Bedeutung sind, sowohl für den pflanzlichen Organismus als in demselben Grade für den tierischen, sind auch deshalb für uns von grossem Interesse, weil sie die Grundlage bilden für die Betrachtung der nicht minder wichtigen Erscheinungen der Diffusion *tropfbarer Flüssigkeiten* durch Membranen — eines Gegenstandes, dem wir uns jetzt zuwenden.

Bei weitem die Mehrzahl der pflanzlichen Nährstoffe werden *auf dem Wege der Flüssigkeitsdiffusion* in das Innere der Pflanze aufgenommen. Die bei diesen Vorgängen ins Spiel kommenden Erscheinungen, obschon etwas verwickelter als die bisher betrachteten, werden uns rasch verständlich werden, da wir uns eben in vielen Stücken auf die einfacheren Vorgänge der Gasdiffusion werden berufen können.

Die Behandlung des Durchgangs von tropfbaren Flüssigkeiten durch membranartige Scheidewände setzt natürlich wieder eine oberflächliche Bekanntschaft mit der Theorie des Wesens dieser Flüssigkeiten, sowie mit deren Mischungsvorgängen, zunächst ohne Einschaltung von Scheidewänden, voraus.

Wir nennen eine *tropfbare Flüssigkeit* ein Aggregat von Molekülen, *deren lebendige Kraft die Anziehung der zunächst benachbarten Moleküle zu überwinden vermag, jedoch kleiner ist, als die Anziehung der Gesamtheit der andern Moleküle* in Bezug auf dasselbe, während bei Gasen die lebendige Kraft des Einzelmoleküls auch noch die Anziehung aller andern überwindet.

Nach dieser Definition ist u. a. sofort einleuchtend, warum sich Gase bei Temperaturerniedrigung oder Druckvermehrung in tropfbare Flüssigkeiten überführen lassen.

hierdurch wird eine Reibung dieser Gasmassen unter sich bewirkt, deren Intensität sich nach dem Volum richtet, welches die einzelnen Moleküle einnehmen, und so die Geschwindigkeit ganz und gar abgeändert.

*) Versuche v. N. J. C. Müller: Pringsh. Jahrb., 1873, p. 36. Ähnliche Versuche hat auch Molisch (Botan. Centralbl., 39, p. 214) angestellt.

**) Vergl. Devaux: Ann. d. scienc. nat. Botanique, 1889, p. 35.

***) Auch sehr geeignet für die Vorlesung.

Zwei chemisch verschiedene tropfbare Flüssigkeiten werden geneigt sein, sich miteinander *in einem jeden Verhältnis* zu mischen, wenn die Moleküle der einen Flüssigkeit stärker von den Molekülen der anderen angezogen werden als von ihren eigenen*). Für unsern Zweck kann es genügen, wenn wir uns bei der Behandlung der Diffusionserscheinungen von Flüssigkeiten auf diesen Fall beschränken, der jedenfalls bei weitem der wichtigste ist, wenn es auch der Vollständigkeit halber verlockender wäre, auf die Theorie der Flüssigkeitsmischungen in bestimmt begrenzten Verhältnissen und ebenso auf die Theorie der Lösungen fester Körper näher einzugehen.

Wenn nun zwei solche Flüssigkeiten, die sich in jedem beliebigen Verhältnisse wie Wasser und Alkohol miteinander mischen, nebeneinander oder übereinander gelagert sind, so dass sie eine Berührungsfläche besitzen, so wird von dieser Fläche aus eine Vermischung stattfinden. — Der Vorgang sieht ganz ähnlich aus wie der analoge bei den Gasen, ist aber z. T. durch andere Ursachen bedingt. Dort war es keine Anziehungskraft, die zur Diffusion Veranlassung gab, sondern lediglich die Molekulargeschwindigkeit des Gases, gegen welche die Anziehung der Moleküle eines und desselben Gases unter sich verschwand; hier bei den tropfbaren Flüssigkeiten ist die lebendige Kraft der Moleküle nicht gross genug, um die Anziehungskraft ihresgleichen völlig zu überwinden; und deshalb füllen ja diese Flüssigkeiten nicht jeden ihnen zur Verfügung gestellten Raum gleichmässig aus. Hier muss die lebendige Kraft der Moleküle durch die Anziehungskraft fremder Moleküle unterstützt werden, und nur, wenn eine andere mit der ersten mischbare Flüssigkeit vorhanden ist, gelingt es, die Moleküle dieser ersteren über einen durch das Volum jener begrenzten Raum zu verteilen. Der Erfolg ist trotz dieser Verschiedenheit der Ursachen zunächst derselbe; nur manifestiert sich bei der Mischung der Flüssigkeiten dadurch ganz deutlich die Mitwirkung der Anziehungskraft, dass, sofern nicht andere Umstände die Sachlage komplizieren, eine Wärmeentwickelung, ein Übergang von chemischer Spannkraft in lebendige Kraft eintritt, ein Vorgang, der bei der reinen Gasdiffusion, wo keine Anziehung im Spiel ist und darum auch keine in lebendige Kraft übergehen kann, selbstverständlich niemals bewirkt wird.

Im übrigen zeigen beide Vorgänge völlige Analogie. Auch bei der Flüssigkeitsdiffusion wirkt die Molekulargeschwindigkeit der Moleküle mit, und deshalb wird auch die Flüssigkeitsdiffusion genau wie die Diffusion der Gase durch Erhöhung der Temperatur, welche ja in nichts anderem als in einer Vergrösserung der Geschwindigkeiten der herumschweifenden Moleküle besteht, wesentlich gesteigert**).

*) Vergl. Naumann: Thermochemie, 1869, p. 102.

**) Wie sehr die natürlichen spezifischen Geschwindigkeiten auch bei der Flüssigkeitsdiffusion eine Rolle spielen, dies zeigt sich am deutlichsten in Versuchen über diese Erscheinungen, welche z. B. von Graham mit wässrigen Salzlösungen und Wasser ohne Membranen angestellt worden sind und bei welchen also die spezifische Anziehungskraft der Salzmoleküle zum Wasser schon gesättigt war. In diesem Falle wird die Diffusionsgeschwindigkeit von nichts anderem abhängen als von den Molekulargeschwindigkeiten

Denken wir uns nun wieder einen festen Körper von verhältnismässig engem Querschnitt, dessen Zwischenräume so klein sind, dass eine einfache Filtration der unveränderten Lösungen durch ihn hindurch nicht stattfinden kann, eingeschaltet. Der Prozess, den wir nun beobachten, ist den früher betrachteten sehr ähnlich und lässt sich in allen Stücken der Gasdialyse zur Seite stellen. Es handelt sich nämlich bei Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten durch Membranen, welchen Vorgang wir jetzt mit einem eigenen Namen als *Osmose**) bezeichnen werden, nicht allein um die *Molekulargeschwindigkeiten der beiden diffundierenden Flüssigkeiten,* sondern, wie aus der gegebenen Theorie des Vorganges hervorgeht, auch um *die gegenseitigen Molekularanziehungen dieser Flüssigkeiten.* Allein auch diese beiden Momente bestimmen den Vorgang der Osmose noch nicht vollständig**); es wirkt ausser denselben — und dieser Umstand macht die in Rede stehende Erscheinung der Gasdialyse so ähnlich — noch *die Substanz der Membran mit ihren spezifischen Anziehungen* mit.

Dass dem so ist, lässt sich leicht zeigen. Wäre die Bewegung der Osmose lediglich von den Molekularkräften der Flüssigkeiten abhängig, so müsste die Wahl der Membran für den Verlauf des Vorgangs genau so gleichgültig sein, wie bei der reinen Gasdiffusion die Wahl des porösen Körpers gleichgültig ist. Wir werden aber sogleich sehen, dass der Vorgang je nach der Wahl der Membran ein ver-

und so konnten konstante Zahlen für die Erscheinung konstatiert werden, von denen hier einige angeführt sein mögen. (Ursprünglich bei Graham: Philos. Transactions, 1850 u. 1851. Hier mitgeteilt nach einem Referat von A. C. Oudemans: Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas, T. III, N. 7.)

Geschwindigkeit	= 1	bei	$MgSO_4$, $ZnSO_4$, Zucker
„	= $1^2/_3$	„	Chloriden der alkal. Erden u. d. schweren Metalle
		„	Na_2SO_4, $Na_2C_2O_4$ und anderen Natronsalzen von zweibasichen Säuren
„	= 2	„	K_2SO_4, $K_2C_2O_4$ u. anderen Kalisalzen von zweibasischen Säuren
„	= $2^1/_3$	„	$NaCl$, $NaNO_3$ u. anderen Natronsalzen von einbasischen Säuren
„ beinahe	= 3	„	KCl, KNO_3 u. anderen Kalisalzen von einbasischen Säuren, auch
		„	NH_4Cl, NH_4NO_3.

Man erkennt auch hier, dass es unter so gleichgemachten Umständen die Molekulargrösse ist, welche einen grossen Einfluss übt, und dass im allgemeinen die kleineren Moleküle die grösste Geschwindigkeit zeigen.

*) Früher sprach man nach einer einseitigen Vorstellungsweise von Exosmose und Endosmose, durch welche Bezeichnungen die Richtung angedeutet werden sollte (z. B. aus einer Zelle heraus oder in dieselbe hinein), in welcher die osmotische Bewegung statthatte.

**) Sie würden ihn allein bestimmen, wenn die eingeschaltete Scheidewand keine spezifischen Anziehungskräfte geltend machte, wenn dieselbe sich Flüssigkeiten gegenüber so verhielte, wie die Graphit- und Biskuitplatten Gasen gegenüber. Ein solcher Vorgang müsste dann als Analogon der reinen Gasdiffusion von der Osmose, welche der Gasdialyse analog ist und von welcher wir im Texte allein handeln werden, unterschieden werden. Ob jene Bedingungen bei der Flüssigkeitsdiffusion durch poröse Thoncylinder mit Niederschlagsmembran erfüllt sind, ist wohl nicht festgestellt worden, obgleich dies durch Demonstration der Unabhängigkeit der Erscheinung von der Wahl des als Scheidewand dienenden Materials leicht möglich wäre.

schiedener ist, genau wie die Gasdialyse, von der wir gesprochen haben, in anderer Weise verläuft, je nachdem man Kautschukmembranen, glühende Platinplatten oder andere zur Dialyse geeignete feste Körper wählt.

Wir haben ferner auch hier wieder hervorzuheben, dass schon ohne Vorhandensein einer Membran wie bei den Gasen im allgemeinen die Diffusionsbewegung der beiden sich vermischenden Flüssigkeiten nach beiden Richtungen mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten vor sich gehen muss, da die Molekulargeschwindigkeit jeder einzelnen Flüssigkeit im allgemeinen eine verschiedene sein wird. Allein es kann wie bei der Diffusion der Gase ohne Membran auch hier nicht zu einer wirklich merklichen Druckdifferenz kommen, da diese sogleich eine sie wieder vernichtende Rückwirkung geltend macht und so im Keim erstickt wird. Ist aber eine Scheidewand da, so wird es noch in höherem Grade und viel andauernder wie bei der Gasdiffusion zu einem ungleichmässigen Übertritt der Moleküle der einen Seite, d. i. zu erheblichen Druckdifferenzen kommen können.

Wir können uns die ganz auffällige Fähigkeit von Membranen, einem einseitigen Flüssigkeitsdruck verhältnismässig so wenig nachzugeben*), aber dennoch mit beiden Seiten an Flüssigkeiten grenzend, die Diffusion dieser Flüssigkeiten zuzulassen, in folgender Weise erklären. Die Moleküle der Membran ziehen nach unserer Voraussetzung die Moleküle beider Flüssigkeiten an und nehmen sie zwischen sich auf. So gelangen die Flüssigkeitsteilchen an die entgegengesetzte Grenzfläche der Membran, von wo aus dann die eigentliche Diffusionswirkung beginnen kann und einen sichtbaren Effekt haben wird, sobald eine chemische Differenz vorhanden ist.

Unterliegt aber die eine Flüssigkeit einem höheren Druck als die zur andern Seite der Membran befindliche, so ist auf der einen Seite eine nur sehr wenig grössere Anzahl von Molekülen vorhanden, da die tropfbaren Flüssigkeiten nicht erheblich zusammendrückbar sind. Die Molekulargeschwindigkeiten der nach der Voraussetzung gleichwarmen, aber unter verschiedenen Drucken stehenden Flüssigkeiten sind aber abgesehen von denjenigen, die durch die chemische Differenz bedingt sind und die in der Richtung der Vergrösserung des Überdrucks wirken, einander ganz gleich, so dass die Moleküle der gepressten Flüssigkeiten beim Durchgang durch Membranen überhaupt keinen erheblichen Vorteil voraus haben. So kommen wir mit leichter Mühe zu dem Resultate, dass *die Omose weit mehr als die Gasdiffusion dem Drucke entgegen stattfinden und fortdauern muss.*

Auf diese Weise kann (also nicht ganz analog der Erklärung des Entstehens eines Gasdrucks bei der Diffusion von Gasen durch engporige Scheidewände) *die Entstehung eines hydrostatischen Druckes* infolge der Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten ihrer Ursache nach leicht erfasst werden.

*) Über die Filtration durch membranartige künstliche Niederschläge vergl. besonders Pfeffer: Osmotische Untersuchungen, 1877, p. 70, woraus hervorgeht, dass, insofern Filtration statthat, dieselbe proportional den Drucken erfolgt. — Wenn man die Konzentration der osmierenden Flüssigkeiten mit dem Druck bei Gasen (die ja auch zugleich die Konzentration derselben ist) vergleicht, ist die Analogie der beiderseitigen Diffusionserscheinungen viel grösser, und auf diesem Gesichtspunkte beruht z. T. die moderne (Van't Hoff'sche) Theorie der Lösungen.

Auch diesen Vorgang der Entstehung eines hydrostatischen Druckes durch Osmose wollen wir uns durch das Experiment veranschaulichen. Ich habe hier einen kurzen Cylinder, der mit Wasser gefüllt ist. In dieses Wasser taucht schon längere Zeit ein Glasrohr, das nach unten mit einer Membran, dem sogenannten Pergamentpapier*), verschlossen ist. Ich ziehe das Glasrohr einen Augenblick heraus — es ist völlig leer. Es geht schon aus diesem Umstande der bedeutende Filtrationswiderstand hervor, den die Membran geltend zu machen im stande ist; denn sie war ja die ganze Zeit mit Wasser unter einem ziemlich beträchtlichen, der Länge des Rohrs unter dem Wasser entsprechenden, hydrostatischen Drucke in Berührung und hat gleichwohl keinen Tropfen hindurchgelassen.

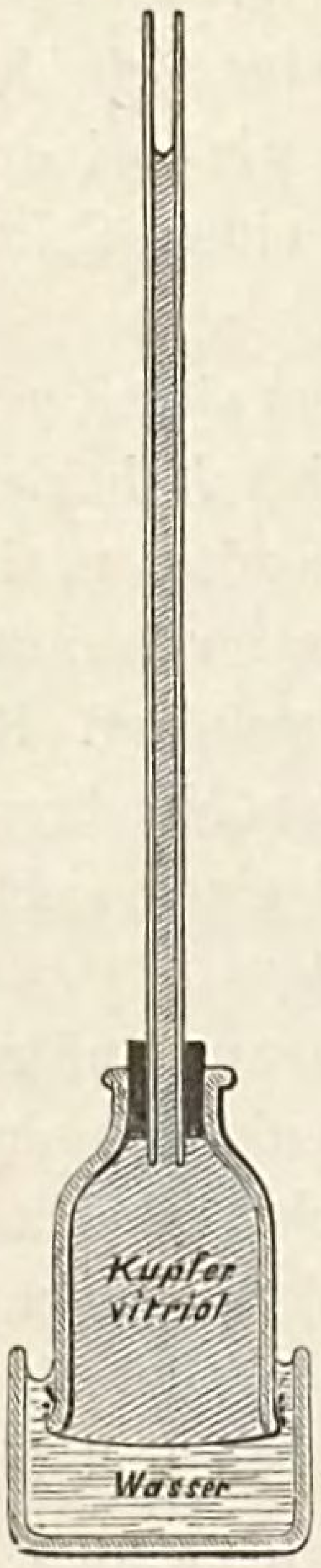


Fig. 19.

Ich stelle nun die Glasröhre in das Wasser zurück und fülle sie höher als bis zu der Höhe, wo aussen das Wasser steht, mit einer Lösung von Kupfervitriol an. Die in der Glasröhre befindliche Flüssigkeit ist ausserdem als konzentrierte Salzlösung schwerer als Wasser und wir wissen daher, dass auf jene, unten die Glasröhre schliessende, Membran ein grösserer hydrostatischer Druck von innen als von aussen wirkt. Dennoch wird nach kurzer Zeit — und am Ende dieser Vorlesung wird dies schon deutlich sichtbar sein**) — die Flüssigkeit in der Röhre an Volum zunehmen, also der hydrostatische Druck ein noch einseitigerer werden. Vergl. Fig. 19.

Die Erklärung dieser Thatsache ist nach dem vorher Gesagten eine äusserst einfache. Die Kraft, welche die Moleküle des Wassers durch die Membran hindurch in die Lösung treibt und welche sich zusammensetzt aus der Geschwindigkeit der Bewegung der Wassermoleküle, aus der spezifischen Anziehungskraft der Membran zu diesen Molekülen und aus der Anziehungskraft dieser letzteren zu den Molekülen der innerhalb der Röhre sich befindenden Lösung, ist grösser als die Kraft, die umgekehrt die Moleküle der Lösung***) durch die Membran nach aussen treibt und die sich in ganz analoger Weise aus drei Momenten zusammensetzt.

Man sieht deutlich auch durch dies einfache Experiment, dessen Erfolg schon in wenig Minuten beginnen wird, sichtbar zu werden, und auch aus dessen Ähnlichkeit mit jenem andern zur Veranschaulichung der Gasdiffusion angestellten, dass die Diffusionserscheinungen für die tropfbaren Flüssigkeiten ganz ähnliche mechanische Effekte herbeiführen als für die Gase, wenn auch der Grund der osmotischen Er-

*) Durch mässig konzentrierte (80prozentige) Schwefelsäure verändertes und infolge Zusammenschmelzens der Fasern seiner Filtrationsfähigkeit beraubtes Papier.

**) Will man den Versuch in so kurzer Zeit mit der angegebenen Lösung und Membran sichtbar machen, so muss, wie die Figur dies angiebt, die Röhre oben, wo die Flüssigkeit steigen soll, verhältnismässig sehr eng gewählt werden.

***) Strenger die Moleküle der gelösten Stoffe, durch welche sich die Lösung von dem Wasser unterscheidet. Es kommt indessen bei dieser Darstellung nicht so sehr auf die Strenge des Ausdrucks an.

scheinungen wesentlich verschieden erscheint*) von der Ursache jener Vorgänge des Durchgangs von Gasen durch poröse Scheidewände.

Ausser diesen mechanischen Effekten, die sich, wie wir gesehen haben, im wesentlichen erklären lassen aus der verschiedenen Durchgangsschnelligkeit chemisch differenter Flüssigkeiten, haben wir dann zu unterscheiden die Eigenschaft von Flüssigkeitsmolekülen, um überhaupt von Membranen durchgelassen zu werden. In Bezug auf ihre Durchgangsfähigkeit durch die gewöhnlichen zur Osmose in Anwendung kommenden Membranen zeigen nämlich die Flüssigkeiten allgemeinere Unterschiede, als bei der Gasdialyse beobachtet worden sind. Es giebt eine Reihe von Stoffen, die in wässrigen Lösungen durch Membranen aller Art mit Leichtigkeit hindurchgehen, oder, wie man sich auch ausdrückt, ein kleines osmotisches Äquivalent**) besitzen; es sind dies meist Stoffe, die wie unsere gewöhnlichen Salze leicht krystallisieren, und dieselben sind deshalb auch als *Krystalloïdal-Substanzen* bezeichnet worden.

Andere Stoffe — und hier nun vorwiegend solche, die keine Krystallform anzunehmen im stande sind, — zeigen in ihrer wässrigen Lösung eine sehr geringe Durchgangsfähigkeit durch Membranen oder ein sehr grosses osmotisches Äquivalent, diese sind *Colloïdal-Substanzen* genannt worden. Dextrin und andere Polyglycosen, die Eiweisskörper, der Leim u. dergl., aber auch einige krystallisierende, wie z. B. das Hämoglobin, gehören in diese letztere Klasse.

Es gelingt z. B. leicht, eine mit wässrigem Eiweiss gefüllte Blase, wenn man sie in Wasser oder manche Salzlösungen legt, zum Zerspringen zu bringen, weil das aufgenommene Flüssigkeitsvolum grösser ist als das ausgegebene und die Membran der Blase einen sehr grossen Filtrationswiderstand leistet. Aber man muss sich nun nicht der Meinung hingeben, dass Stoffe, die nicht durch Membranen hindurchgehen, zur Erzeugung grosser osmotischer Druckdifferenzen in kurzer Zeit besonders geeignet seien. Wäre dies der Fall, so würden wir nicht vorhin gerade ein Krystalloïd zur Demonstration jenes Druckes verwendet haben. Zunächst handelt es sich bei der Entstehung jenes Druckes nur um die Geschwindigkeitsdifferenz beider in Betracht kommenden Bewegungen, und diese kann natürlich bei Colloïden kleiner sein, auch wenn das negative Glied gleich Null ist***).

Wir können aus der Erläuterung dieser Vorgänge das demselben Gemeinschaftliche als für uns wichtiges Resultat mit hinwegnehmen, dass nämlich die Möglichkeit besteht, mittelst einer *membranartigen Scheidewand chemische Spannkräfte*

*) Mehr Übereinstimmung wird in Bezug auf die beiden Erscheinungen gebracht durch die in Anm. *), p. 327, angedeuteten Anschauungen von van't Hoff.

**) Die Definition des wenig bezeichnenden Ausdrucks „osmotisches Äquivalent" ist diejenige Menge Wasser, die an einem Gewichtsteil des durch die Membran diffundierenden gelösten Stoffes vorbeigeht oder für ihn übertritt. Eine absolut colloïdale Substanz würde als eine Substanz von unendlich grossem osmotischen Äquivalent zu bezeichnen sein. (Vergl. Schumacher: Physik der Pflanze, 1867, p. 124.)

***) Vergl. auch Pfeffer: A. a. O., p. 54. Faktisch ist die Anziehungskraft von Colloïden gegen Wasser meistens besonders gering, wie u. a. aus den Untersuchungen von Guthrie hervorgeht, wonach Colloïde wie Arabin und Leim weder Einfluss auf den Koch- noch auf den Gefrierpunkt ihres Lösungswassers haben.

von Flüssigkeiten in einen Flüssigkeitsdruck, d. i. *mechanische Spannkraft, die zur Leistung von mechanischen Arbeiten geschickt ist, zu verwandeln**). In der einfachsten Weise macht sich diese Möglichkeit freilich schon bei der Diffusion ohne Membran geltend, indem bekanntlich bei dieser die Schwerkraft überwunden werden kann, wenn wir nämlich das spezifisch schwerere Gas oder die schwerere Flüssigkeit unter das leichtere Gas oder die Flüssigkeit schichten, wo dann unter Hebung schwererer Moleküle und Senkung leichterer, also in Summa unter Leistung von mechanischer Arbeit die Vermischung stattfindet.

Ich brauche nicht weiter darauf hinzudeuten, dass der eben beschriebene Effekt der osmotischen Wirkungen für unsere Untersuchungen an der Pflanze von hoher Wichtigkeit sein muss, da eine jede *Zellhaut* und noch viel mehr die *äusserste Protoplasmalage*, der früher sogenannte Primordialschlauch, *mehr* oder *weniger vollkommene Membranen* mit allen den geschilderten Eigentümlichkeiten vorstellen. Bei der Besprechung des Wurzeldrucks werden wir auf das hier erläuterte Prinzip zurückgreifen.

Nun zu der Beeinflussung der Erscheinung von der Natur der Scheidewand. Wir konnten uns von der Fähigkeit anscheinend dichter Membranen, Gas und Flüssigkeits-Diffusion zuzulassen, nur so eine Vorstellung machen, dass wir annahmen, die Moleküle der unter diesen Umständen durchgangsfähigen Flüssigkeiten würden vorübergehend zwischen die Moleküle der Membran eingelagert. Was die Gasdialyse betrifft, so haben wir für diese gesehen, dass die Aufnahme der diffusiblen Gase von den als Membran wirkenden Substanzen durch das Experiment thatsächlich nachgewiesen ist. Aus dieser notwendigen Annahme geht nun hervor, dass der ganze Gang der Diffusion in den relativen Mengen der sich austauschenden Stoffe *von der spezifischen Beschaffenheit der Membranen* abhängig ist. Für die Gasdialyse haben wir diese Abhängigkeit sehr deutlich konstatiert, für die Osmose bis jetzt nur von ferne angedeutet.

Die osmotischen Vorgänge zwischen zwei Flüssigkeiten sind in der That, wie Hunderte von Versuchen lehren, von der Substanz der sie trennenden Membran in ihrer ganzen äusseren Erscheinung bedingt, und dies kann nach der gemachten Folgerung auch nicht anders sein. Es geht diese Abhängigkeit so weit, dass es, wie wir früher schon hervorgehoben haben, bei zwei ganz gleichen Flüssigkeiten mit leichter Mühe gelingt, bloss durch Wahl einer andern Membran, den Diffusionsstrom in seiner Intensität abzuändern, ja sogar dem Sinne nach umzukehren, d. h. zu veranlassen, dass in einem Fall der Übertritt von Molekülen der einen Flüssigkeit in die andere das Übergewicht behält, im andern Falle der entgegengesetzte Übertritt vorherrscht**).

*) Vergl. auch die Arbeiten von W. Schmidt: Pogg. Ann., B. 99, p. 337, und B. 114, p. 337, und namentlich den hübschen Versuch von Nernst: Zeitschr. f. physik. Chemie, VI, p. 38.

**) So geht nach Dutrochet der Diffusionsstrom durch die Membran der tierischen Blase von mehreren Paaren sich mischender Flüssigkeiten, wie z. B. Oxalsäurelösung und Wasser, in entgegengesetzter Richtung wie durch die Röhre des Lauchs, oder Wasser durch

Wir müssen uns diese Thatsache nach dem vorhin Gesagten selbstverständlich so erklären, dass in einem Falle die Schnelligkeit der Bewegung der Moleküle der ersten Flüssigkeit, plus der spezifischen Anziehungskraft dieser Moleküle zu den der zweiten Flüssigkeit, plus der spezifischen Anziehungskraft dieser Moleküle zu der Membransubstanz, alles in der richtigen Weise mathematisch formuliert, grösser gewesen ist als die entsprechenden Kräfte, die bei der zweiten Flüssigkeit zur Geltung kommen konnten, im andern Falle umgekehrt, und dass dabei die Werte des dritten Momentes, die in diesem Falle allein variabel sind, sich in der Weise geändert haben, dass die Differenz der beiden Summen einen andern Sinn bekommen hat*).

Wir werden durch diese verwickelten Umstände, die das Gefolge sind einer durch mehrere Momente zu stande kommenden Erscheinung, darauf aufmerksam gemacht, dass es nicht, wie es vielleicht manchem in den Sinn kommen könnte, erlaubt ist, aus irgend einer einzelnen osmotischen Erscheinung, die bei Benutzung einer beliebigen Membran beobachtet wurde, sofort Schlüsse zu ziehen und dieselben auf die Zustände des Pflanzenreichs zu übertragen, wenn ich auch entschieden dafür einstehen möchte, dass einige Schlüsse, die dem Studium dieser Erscheinungen entstammen, sofort einer fruchtbaren Anwendung für eine Reihe von physiologischen Vorgängen fähig sind. — Ich hoffe dies sehr bald zeigen zu können.

Hauptsächlich aber macht sich der spezifische Einfluss der Membranen dadurch geltend, dass die eine sich gegenüber den Molekülen eines gelösten Körpers als undurchlässig, die andere als durchlässig erweist, so dass die vorhin aufgestellten Begriffe von Colloïd und Krystalloïd keine absoluten, sondern mit der Art der Membranen variabele sind, so zwar, dass die im strengsten Sinne colloïdartigen auch durch die sonst durchlässigsten Membranen nicht, die am meisten krystalloïden durch die am wenigst durchlässigen doch hindurchgehen. Wenn man hierbei weiss, dass die colloïden Stoffe durchgängig solche sind von grossem Molekül, die krystalloïden von kleinem, so verhalten sich die Membranen offenbar ähnlich wie eng- oder weitmaschigere Siebe, mit denen es gelingt, Stoffe von grossem Molekül zurückzuhalten, wobei aber von der Nummer dieses Siebes abhängig ist, ob dies in Bezug auf einen bestimmten gelösten Körper gelingt. Diese Vorstellung ist übrigens nur als ein grobes Bild zu fassen, da die nähere micelläre Struktur der Membran die eigent-

tierische Blase zum Alkohol, dieser durch Kautschukmembran zum Wasser. Vergl. Pfeffer: a. a. O., p. 58. Übrigens muss dies bei der erfahrungsmässigen Kleinheit des osmotischen Äquivalents des Lösungswassers eine Seltenheit sein.

*) Aus dieser Überlegung folgt gleichzeitig, dass das Verhältnis jener Summen, von dem die sogen. Richtung des Diffusionsstromes abhängt, auch durch eine Veränderung der Temperatur, wodurch die Molekulargeschwindigkeit der diffundierenden Flüssigkeit in verschiedenen Verhältnissen abgeändert wird, ein anderes werden kann und häufig ein anderes werden wird. In der That lehrt auch die Erfahrung, dass der Diffusionsstrom zweier Flüssigkeiten bei Veränderung der Temperatur sich manchmal umkehrt, die „Exosmose" sich in „Endosmose" verwandelt. — Aus der gleichen Betrachtung lässt sich auch folgern, dass durch blosse Veränderung der Konzentrationen der benutzten Lösungen auch das Verhältnis jener Summen unter Umständen ein anderes werden kann.

liche Erklärung abgeben muss; sie ist aber ein gutes Bild, da der Erfahrung nach die anderweitig festzustellende Grösse des Moleküls entscheidend ist für die Fähigkeit, vorübergehend in diese Struktur einzugehen.

Noch bleibt uns der Einfluss zu behandeln, welchen die Einschaltung von Membranen auf die Wechselwirkung zwischen Gasen und Flüssigkeiten ausübt, um zu erfahren, wie sich in der Pflanze Verdunstungs- und Absorptionserscheinungen mit den osmotischen Vorgängen kombinieren.

Die meisten tropfbaren Flüssigkeiten besitzen bei gewöhnlicher Temperatur eine gewisse Tension, d. h. das Bestreben ihrer Moleküle, sich von der Anziehung der übrigen Moleküle der Flüssigkeit zu emanzipieren und als freie Gasmoleküle in weite Fernen zu schweifen*). Steht eine solche Flüssigkeit in unmittelbarer Verbindung mit einem, weder durch einen festen noch einen tropfbar flüssigen Körper erfüllten Raum, so nehmen so lange fortwährend gewisse Teilchen der Flüssigkeit Gasgestalt an, bis der Raum (bis zu einem gewissen von der Temperatur abhängigen Grade) von den entweichenden Molekülen angefüllt ist und bis die Rückkehr von vergasten Teilchen in die Anziehungssphäre der flüssigen jenem ersten Vorgange das Gleichgewicht hält.

Dieses einfache Verhältnis, auf dessen theoretische Erläuterung wir nicht weiter eingehen wollen, wird wesentlich durch die Einschaltung einer Membran abgeändert. Es ist leicht verständlich wie?, da auch hier wieder die *Anziehungskraft der Membran zu den Flüssigkeitsteilchen* eine sehr erhebliche Rolle spielen wird. Besteht eine solche, d. h. hat eine Flüssigkeit die Fähigkeit, eine Membran zu befeuchten und sie quellen zu machen, so wird die Verdunstung einer solchen Flüssigkeit auch nach der Absperrung durch die Membran keine sehr wesentliche Einschränkung erleiden; ist dies nicht der Fall, so muss sich die Membran der Flüssigkeit gegenüber so verhalten, wie eine Glaswand allen Flüssigkeiten gegenüber, d. h. als die Verdunstung unmöglich machend. Wir werden später in den kutikularisierten Gewebeteilen einen solchen die Verdunstung des Wassers hemmenden Einfluss erkennen.

Hat nun eine und dieselbe Membran die Fähigkeit, die Moleküle irgend einer Flüssigkeit durch eine spezifische Anziehungskraft in sich aufzunehmen, die Moleküle einer andern aber nicht, und sind ausserdem die Bedingungen zur Verdunstung dieser Flüssigkeiten jenseits der Membran vorhanden, so wird die eine Flüssigkeit durch die Membran hindurch verdunsten, die andere aber nicht, und wenn selbst die Flüchtigkeit dieser letzteren weit grösser wäre. So wird bekanntlich die öfter angeführte, aber uns bei dem ersten Versuch ihrer Erklärung ziemlich befremdlich entgegentretende Thatsache, die schon in alter Zeit technisch ausgenützt worden sein soll, erklärt, dass nämlich wässriger Weingeist durch eine tierische Blase kon-

*) Diese Anschauung steht nicht im Widerspruche mit der vorhin gegebenen Theorie der Flüssigkeiten, sondern ist mit derselben in Einklang zu bringen, indem man dem Entwickelten die Anschauung hinzufügt, dass die verschiedenen Moleküle einer und derselben Flüssigkeit sehr verschiedene Geschwindigkeiten besitzen, deren mittlere die Höhe der herrschenden Temperatur bestimmt. Die am raschesten sich bewegenden Moleküle sind diejenigen, deren Verlust aus der Flüssigkeit als Verdampfung dieser empfunden wird.

zentriert werden kann, wenn man ihn, in eine solche gefüllt, an der Luft der Verdunstung aussetzt. Die Flüssigkeit des Gemisches, welche die kleinere Tension besitzt, das Wasser, verdunstet dem gewöhnlichen Sachverhalt entgegen durch die tierische Blase hindurch rascher als die andere von grösserer Flüchtigkeit, der Alkohol, weil nur jene im stande ist, die Blase zu durchdringen, die Moleküle des Alkohols aber von dieser nicht aufgenommen werden*).

Ein ganz ähnlicher Effekt wird nun bei Absorptionserscheinungen von Gasen in tropfbaren Flüssigkeiten durch die Einschaltung einer Membran zwischen Gas und Flüssigkeiten ausgeübt.

Bekanntlich haben viele Gase die Fähigkeit, von tropfbaren Flüssigkeiten aufgenommen oder, wie wir sagen, absorbiert zu werden. Die in die Flüssigkeit eindringenden Gasmoleküle verhalten sich alsdann genau wie die Moleküle einer tropfbaren Flüssigkeit selbst; d. h. ihre lebendige Kraft ist geringer als die Gesamtanziehung der auf sie wirkenden Flüssigkeitsmoleküle. Der ganze Vorgang ist selbstredend von den spezifischen Anziehungskräften der betreffenden Gase und Flüssigkeiten wesentlich abhängig, und von denselben ist natürlich auch die Sättigungskapazität der tropfbaren Flüssigkeiten für die einzelnen Gase, die infolgedessen ausserordentlich verschieden ist**), bedingt.

Findet nun aber eine solche Absorptionserscheinung, deren gesetzmässiger Verlauf an sich leicht verständlich ist, nach Einschaltung einer Membran statt, so wird das Resultat derselben wesentlich durch die Eigenschaften dieser letzteren abgeändert. Es kommt auch hier wieder darauf an, ob die betreffende Membran für beide ins Spiel kommende Körper keine spezifische Anziehungskraft besitzt oder ob sie die Moleküle des Gases oder der Flüssigkeit zwischen ihren eigenen Molekülen einzulagern fähig ist. Im ersteren Falle wird sie als undurchdringliche Scheidewand sich verhalten und die Absorptionserscheinung ganz und gar verhindern, in einem der letzteren Fälle wird keine erhebliche Beeinträchtigung des Vorgangs, unter Umständen dagegen eine relative Beschleunigung desselben eintreten können. Man braucht nach dem früher Gesagten nichts Weiteres hinzuzufügen, um von dem hier zu erläuternden Sachverhalt eine richtige Vorstellung zu gewinnen.

Es wird beinahe überflüssig sein, hier nochmals darauf aufmerksam zu machen, dass auch bei den beiden zuletzt ins Auge gefassten Vorgängen, bei Verdunstungs- und Absorptionserscheinungen unter Einschaltung einer Membran, sich wieder die Widerstandsfähigkeit dieser Scheidewände gegen Gas und Flüssigkeits-Drucke in bekannter Weise geltend macht. Eine von einer Membran nach aussen abge-

*) Bei einem Versuche, es zu wiederholen, hat mir dieses Experiment das umgekehrte Resultat gegeben; da es sich indessen nur um ein Beispiel handelt, für einen Satz, der selber nicht bezweifelt werden darf, so mag die Sache dahingestellt bleiben.

**) Von einem Volum Wasser werden bis 18° C. folgende Mengen der angeführten Gase absorbiert:

Kohlensäure	1,060	Vol.
Sauerstoff	0,065	„
Wasserstoff	0,046	„
Stickstoff	0,042	„

schlossene Flüssigkeit, die durch jene hindurch verdunstet, verhält sich genau wie eine solche Flüssigkeit, welche bei der Osmose ein grösseres Volum von Molekülen nach aussen abgiebt, als von dort wieder empfängt; d. h. es herrscht nach einiger Zeit in ihr ein niedrigerer Druck als in ihrer Umgebung, vorausgesetzt, dass die Membran eine gewisse Elastizität, die Fähigkeit in einen andern Zustand der Spannung überzugehen, besitzt, wie dies bei gesunden pflanzlichen Zellhäuten in der That gefunden wird. — Das Erörterte ist ein Verhalten, das, wie wir bald sehen werden, in jeder Luftpflanze vorkommt und nach der Annahme einzelner für das Zustandekommen des Wasserstroms eine bedeutende Rolle spielt.

Auch die Zusammenwirkung von Osmose und Dissociation wird schon an dieser Stelle am passendsten zu berücksichtigen sein. Die Lehre von dieser letzteren Erscheinung setzt uns bekanntlich davon in Kenntnis, dass die Moleküle von Gasen und ebenso von gelösten Körpern einer fortdauernden freiwilligen Zersetzung*) unterliegen, von der wir bloss deshalb keine Zeichen sehen, weil der Effekt durch gleichzeitige Wiederbildung der gleichen Moleküle niemals augenfällig wird und die entgegengesetzte Wirkung beider Zersetzungsprodukte (zumal bei dualistisch zusammengesetzten Salzen) die Wahrnehmung beider nebeneinander erschwert. Ist nun aber der eine Bestandteil krystalloïder Natur, der andere nicht, und bietet sich gleichzeitig Gelegenheit zur Diffusion, dann kann die freiwillige chemische Zersetzung grosse Dimensionen annehmen. Auf diese Weise kann man aus Eisenchlorid auf dem Dialysator Salzsäure abscheiden, während das colloïde Ferrihydroxyd zurückbleibt und dabei charakteristisch genug in Auflösung sich befindet.

Für die Pflanze, wie noch in höherem Grade für den tierischen Organismus sind derartige Zusammenwirkungen bedeutungsvoll. Abscheidungen aus Drüsen, wie z. B. von Salzsäure aus denen des Magens, von den sauren Verdauungsflüssigkeiten, welche den fleischessenden Pflanzen eigentümlich sind, müssen wesentlich auf diese Weise erklärt werden, wie auch andererseits die Abscheidungen von kohlensaurem Kalke durch Schalentiere nur mit Hilfe derartiger Erscheinungen zu erklären sind.

Soweit wir es hier gethan haben, erschien es mir durchaus unerlässlich, die Diffusionserscheinungen im weitesten Sinne des Wortes einer allgemeineren Betrachtung zu unterwerfen, um die komplizierten Vorgänge der Stoffaufnahme in der Pflanze verstehen zu lernen. Es ist notwendig, sich bei der Betrachtung jener Verhältnisse immer die Hauptgesichtspunkte, zu denen wir heute gelangt sind, ins Gedächtnis zurückzurufen, um nicht bei vielen Erklärungsversuchen die unsäglichste Verwirrung anzurichten. Diese neue Aufgabe realerer Natur wird uns in den nächsten Vorlesungen beschäftigen.

*) Ob Salze hierbei in Basen und Säuren zerfallen oder, wie die neue Theorie von Arrhenius und Ostwald unterstellt, schon durch die Auflösung selber in Einheiten von elektrischem Werte, in sogenannte Jonen, lassen wir hierbei unentschieden. Für die Folgerungen, welche wir hier nötig haben, ist dies auch gleichgültig.

Einundzwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Der Gasaustausch der Pflanzen. — Die rein osmotische Stoffaufnahme.

Wir müssen uns heute zunächst über die Aufgaben klar zu werden suchen, die in der Pflanzenernährungslehre mit Hilfe der Kenntnis der Diffusionserscheinungen gelöst werden können.

Reden wir vorerst von dem Gasaustausch der Pflanzen. — Die Frage nach den Stoffen, die in Gasform von den Pflanzen während des Vollzugs ihrer Lebenserscheinungen aufgenommen und ausgegeben werden können, ist leicht zu beantworten, wenn wir die Resultate unserer seitherigen Betrachtungen vor uns Revue passieren lassen. Es gehört hierin für die meisten Pflanzen die *Kohlensäureaufnahme* und *Sauerstoffausgabe* bei der Produktion der organischen Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle, sodann der *umgekehrte Gasaustausch* bei der Pflanzenatmung. Es kommt ausserdem noch in Betracht die *Ausgabe des Wassers*, die bei den Luftpflanzen — wie wir kollektiv alle Landpflanzen und aus dem Wasser hervorragenden Wasserpflanzen nennen können — in Gasform geschieht, und vielleicht noch bei manchen Pflanzen die gelegentliche Wasserverdichtung durch das organische Gewebe; schliesslich, wenn man subtil verfahren will, auch die Aufnahme von Spuren gasfömigen Ammoniaks aus der Luft — eine Thatsache freilich von unerheblicher physiologischer Wichtigkeit. Dies sind, soviel wir wissen, alle wesentlichen Vorgänge in der Pflanze, bei welchen Austausch von Gasen eine Rolle spielt. Von der Ausgabe mancher riechenden ätherischen Öle in Gasform können wir hier ganz absehen.

Wenn wir zunächst zu der Aufnahme von Kohlensäure und der Ausgabe von Sauerstoff übergehen, so muss selbstverständlich auf den anatomischen Bau der chlorophyllhaltigen Organe Rücksicht genommen werden, der ein ganz eigentümlicher ist und von dem natürlich der Gaswechsel seiner Art und Intensität nach bedingt ist. Wir werden indessen hier nur auf den Bau der betreffenden Organe bei den höheren und den Landpflanzen, mit denen es die Landwirtschaft zunächst zu thun hat, Rücksicht nehmen.

Zuerst aber werden wir die Frage zu beantworten haben, inwieweit es die Kohlensäure der Atmosphäre, inwieweit es die des Bodens ist, inwieweit endlich die in der Pflanze selbst erzeugte es ist, die in der chlorophyllhaltigen Zelle zur Verarbeitung gelangt.

Dass die letztere es nur zum allerkleinsten Teile sein kann, geht aus früher angestellten Betrachtungen über die geg n die Produktion der organischen Substanz in ihrer Intensität sehr zurücktretende Pflanzenatmung hervor, indem ja sonst das Gesamtresultat nicht noch einen sehr bedeutenden Rest organischer Materie darstellen könnte.

Über die Verwertbarkeit der atmosphärischen Kohlensäure sowohl, als der, welche mit dem Bodenwasser in Lösung in den Pflanzenleib und schliesslich auch bis in die chlorophyllhaltigen Organe gelangt, liegen nun Versuche vor, die als brauchbare Beweismittel dienen können.

Für die Verwertbarkeit der atmosphärischen Kohlensäure, die von einigen wegen des geringen Gehalts der atmosphärischen Luft an dieser letzteren, und weil man glaubte, dass die im Boden (die im Regenwasser gelöste und durch Verwesung gebildete) zur Verfügung stehende Kohlensäure ausreichend sei, angezweifelt wurde, ist von Boussingault*) zuerst der entscheidende experimentelle Beweis geliefert worden. Dieser liess einfach Weinzweige in gewöhnlicher Luft, deren Kohlensäuregehalt bestimmt worden war, im intensiven Lichte vegetieren und ermittelte unter Beobachtung einiger selbstverständlichen Vorsichtsmaassregeln die Veränderung, welche die Zusammensetzung der Luft nach diesem Vorgang erlitten hatte. Derselbe fand ein Zurückgehen des Kohlensäuregehalts von 0,045 % auf 0,02 %, in einem andern Falle von 0,04 % auf 0,01 %**). Boussingault stellte zum Überflusse denselben Versuch auch noch bei Nacht an, wo sich unter ähnlichen Umständen der Kohlensäuregehalt der Luft im Recipienten verdoppelte. Auch hat derselbe Forscher Blätter, welche noch mit der Pflanze in Verbindung waren, in kohlensäurefreier Atmosphäre auf die Assimilationsintensität untersucht und sehr niedrige Werte gefunden, zum Beweis dafür, dass die aus den tiefern Pflanzenteilen zuströmende Kohlensäure eine untergeordnete Bedeutung besitzt.

Es lässt sich ausserdem berechnen, dass für die gewöhnlichen Verhältnisse der Pflanzenproduktion draussen auf unsern Ackerfeldern die Kohlensäure des Bodens, die durch Verwesung von Ernteresten und Mist entsteht und andererseits durch das Regenwasser in das Erdreich gelangt, nicht ausreicht***) für den Bedarf der Pflanze an diesem Nahrungsmittel, so dass auch aus diesem Sachverhalt schon mit grosser Wahrscheinlichkeit der Schluss gezogen werden muss, *dass die Kohlensäure der Atmosphäre von der Pflanze, die ihre grünen Organe in das Luftmeer taucht, in Anspruch genommen wird*, um die üblichen Ernten an Pflanzensubstanz zu produzieren.

Es ist nun aber auch die umgekehrte Frage aufgetaucht, ob die Kohlensäure des Bodens für die Produktion der organischen Substanz in der Pflanze von irgend welchem Nutzen sei, und auch diese Frage hat experimentelle Bearbeitungen gefunden. Senebier†) hatte schon die Sauerstoffabscheidung zweier grünen Pfirsich-

*) Die Landwirtschaft etc., deutsch von Gräger, 1844, I, p. 45.

**) Vergl. auch Corenwinder (Jahresber. f. Agrikulturchemie, 1858—1859, p. 100 u. ff.), ferner die Versuche von Vogel und Wittwer: Abhandl. d. Königl. bayr. Akad. d. Wissensch., B. VI, p. 265.

***) Bunsen hat berechnet, dass die Kohlensäure, die durch das Regenwasser in die Ackererde gelangt, bei weitem nicht ausreicht — sie ist 2,57 gr auf 1 qm —, um die thatsächlich beobachtete Kohlenstoffproduktion der Pflanzen zu decken (vergl. Annal. der Chem. u. Pharm., B. 93, p. 48); und die Kohlensäure, welche durch Verwesung geliefert wird, ist auf vielen reichtragenden Ländereien sehr unbedeutend und muss natürlich im Durchschnitt immer geringer sein als die zur Neuproduktion dienende Menge.

†) Boussingault: A. a. O., p. 44.

zweige gemessen, von denen der eine mit der Schnittfläche in kohlensäurehaltiges Wasser tauchte, während dem andern nur die Kohlensäure der Luft zur Verfügung stand. Er fand, dass der erstere in derselben Zeit beinahe die doppelte Menge Sauerstoff abgab als der andere. Später begriff man indessen, dass die Frage ja nicht eigentlich ist, ob von einem Übermaasse von Kohlensäure durch abgeschnittene Zweige etwas in die assimilierenden Organe gelangen kann, sondern ob durch die Wurzel aus gewöhnlicher Erde für diesen Zweck genug entnommen wird. Für die wahre Sachlage ist der zweite der eben erwähnten Versuche von Boussingault sehr viel entscheidender, und derselbe hat später durch andere ausführlichere Arbeiten Bestätigung erhalten*).

Aus alledem zusammengenommen ist allerdings zu schliessen, dass die Pflanze die Kohlensäure zu ihrer Ernährung nimmt, *wo sie sie findet*, dass sie natürlich die Kohlensäure, wenn solche in dem Strom von Wasser, der unausgesetzt durch sie hindurchgeht, vorhanden ist, nicht verschmäht, dass sie aber ebenso die gasförmige Kohlensäure der Atmosphäre mit grosser Macht gleichsam an sich zieht und gleichfalls zu ihren Zwecken benutzt. Sollen wir dagegen die beiden Quellen praktisch dem Reichtum ihres Fliessens nach beurteilen, so muss entschieden ausgesprochen werden, dass die Hauptmasse der Kohlensäure, welche die Pflanze zur Produktion verwendet, jedenfalls der Luft entstammt, da, abgesehen von den neueren Versuchen in dieser Richtung, schon die Berechnungen für die Kohlensäurequelle des Bodens ziemlich ungünstige Zahlen ergeben, und da der Erfolg unserer Wasserkulturen zeigt, dass ganz ohne Kohlensäurezufuhr durch die Wurzeln Maximalernten erreicht werden können, während die Pflanzen noch dauernd Kohlensäure an die Nährstofflösung abgeben.

Wir haben es also in der Kohlensäureassimilation der grünen Pflanze vorzugsweise mit einer Stoffaufnahme in gasförmigem Zustande zu thun, und wir werden uns demgemäss nach Vorrichtungen umzusehen haben, welche die Blätter mit diesem wichtigen Nahrungsmittel versorgen.

Die grünen Organe aller höheren Pflanzen enthalten in der Regel eine grössere Reihe von Zellschichten, die, von der obersten abgesehen, alle chlorophyllhaltig, also ihrer physiologischen Einrichtung nach befähigt sind, Kohlensäure zu verarbeiten und Sauerstoff auszugeben. Da diese einzelnen Zellen alle auf die Kohlensäure angewiesen sind, die ihnen durch die Atmosphäre geliefert wird, so sind die Zellen der tiefer liegenden Zellreihen anscheinend hinsichtlich der prompten Zufuhr des ihnen zu ihrer Arbeit unentbehrlichen Rohmaterials in einer weniger günstigen Lage, da sie mit dem „Abtrag von anderer Leute Gastung“ vorlieb nehmen müssen, und bei einer starken Thätigkeit der äusseren Zellen nur eine noch viel kohlensäureärmere (wo nicht kohlensäurefreie) Luft, als die Atmosphäre ist, zu ihnen gelangen kann, auch wenn wir die allergünstigsten Diffusionsverhältnisse für jene flüchtige Säure annehmen.

Eine weitere mikroskopische Untersuchung der grünen Pflanzenteile lehrt uns nun aber eine Vorrichtung kennen, die bei näherer Prüfung geeignet erscheint, dieses ungünstige Verhalten zu beseitigen. Die äussere Hautschicht eines solchen Organs, die also aus

*) Vergl. Moll: Landw. Jahrb., 1877, p. 327.

den Aussenwänden der an die Atmosphäre grenzenden Zellen besteht, ist, wie sich aus einer solchen Untersuchung ergiebt, kein kontinuierliches Ganzes, sondern hat spaltenförmige Lücken, die von zwei halbmondförmigen Schliesszellen gebildet werden; vergleiche Fig. 20. — Wir sehen hier von der näheren anatomischen Beschaffenheit dieser sogenannten „*Spaltöffnungen*“ ab, sowie auch von deren Entwickelung aus dem früher gleichartigen Gewebe, und konstatieren einfach deren regelmässiges Vorhandensein auf der Oberfläche aller grünen, in die Luft ragenden Organe. Es muss hier freilich erwähnt werden, dass auch viele anderen Organe, wie Blumenblätter, Pflanzenteile chlorophyllloser Organismen und selbst unterirdische Axenorgane regelmässig oder in einzelnen Fällen solche Spaltöffnungen besitzen, aber es kann zugleich hinzugesetzt werden, dass nur chlorophyllhaltige Organe diese Einrichtungen mit vollständiger Regelmässigkeit oder im reichlichsten Maasse aufweisen*). Man hat sich sogar die Mühe gegeben, die Anzahl dieser kleinen Öffnungen auf der Flächeneinheit der Blattepidermis zu zählen, und hat gefunden, dass bei Blättern verschiedener Arten deren Anzahl ausserordentlich wechselt. Auf den □ Millimeter einer Blattepidermis kommen 40 bis zu 700 solcher Spaltöffnungen, im Durchschnitt vielleicht 200.

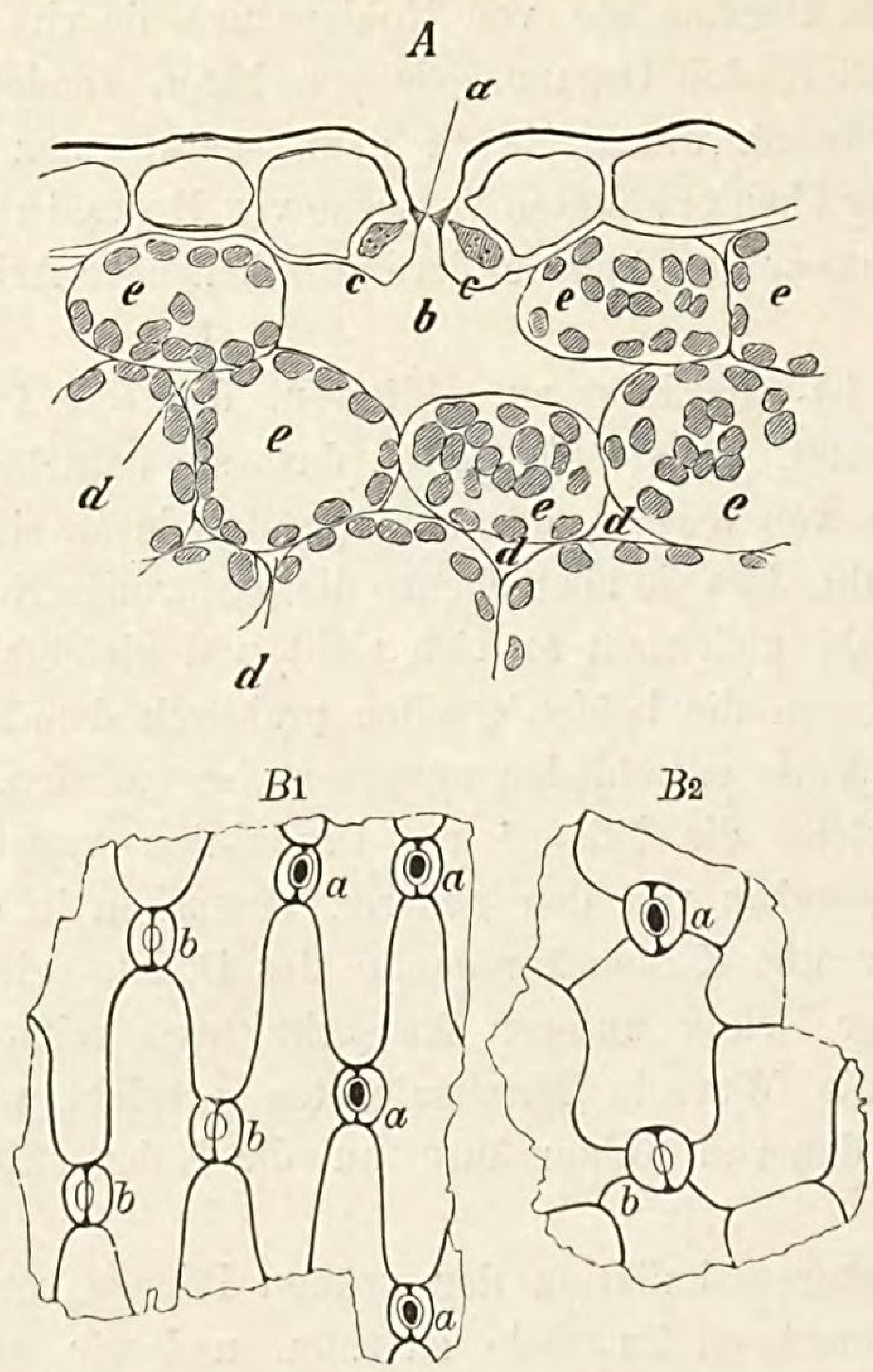


Fig. 20.

A. Spaltöffnung eines chlorophyllführenden Organs im Querschnitt [Unterseite von Iris nach Strassburger].
a. Spaltöffnung geöffnet.
b. Atemhöhle.
cc. Schliesszellen.
dd. Intercellularräume.
ee. Chlorophyllhaltige Zellen.

B1, B2 Stücke mit Spaltöffnungen besetzter Oberhäute chlorophyllhaltiger Organe, B1 von Iris pumila, B2 von Orchis latifolia. — Die Spaltöffnung a offen, b geschlossen.

Die weitere Einrichtung dieser Lücken in der Epidermis der Blätter ergiebt sich nun aus folgendem. Wenn man eine solche Spaltöffnung im Querschnitt betrachtet, so sieht man zunächst, wie unter ihnen ein etwas weiterer lufterfüllter Raum sich

*) Einen deutlichen Fingerzeig für die hauptsächlichen Orte des Vorkommens der Spaltöffnungen geben manche auf dem Wasser schwimmenden Blätter, wie z. B. die der Nymphäaceen, welche auf der oberen, mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehenden Blattseite reichlich Spaltöffnungen besitzen, auf der unteren an das Wasser grenzenden Seite beinahe frei davon sind, während bei Luftpflanzen die untere Seite der Blätter in der Regel reicher an Spaltöffnungen ist als die obere. Die völlig untergetauchten Wasserpflanzen besitzen nur ausnahmsweise Spaltöffnungen.

befindet, mit dem sie in direkter Verbindung steht; vergl. Fig. 20 A. Man hat diesen Raum die *Atemhöhle* genannt. Derselbe steht nun aber wieder, wie sich manchmal schon unter dem Mikroskope erkennen lässt, mit den lufterfüllten *Intercellularräumen**) des Blattparenchyms in Verbindung und durch diese endlich mit den Intercellularräumen der angrenzenden Gewebeformen.

Ich kann diesen Sachverhalt, ohne näher auf die anatomischen Details einzugehen, bei manchen Pflanzen leicht demonstrieren. Ich befestige ein unverletztes abgeschnittenes Blatt mit dem Stengel luftdicht in die Öffnung des Rezipienten einer Luftpumpe, und zwar so, dass der Stengel in Wasser eintaucht, das Blatt selbst in die äussere Luft ragt. Beim Auspumpen, mit welchem ich nun beginne, entwickelt sich rasch ein kontinuierlicher Blasenstrom aus der Schnittfläche des Blattstiels (siehe Fig. 21) und indem man das Blatt äusserlich in eine Atmosphäre von Kohlensäure taucht und dem Wasser im Rezipienten Kalkwasser zusetzt, lässt sich auch durch die bedeutende Trübung, die der Blasenstrom veranlasst, beweisen, dass das Gas wirklich durch das ganze Blatt hindurchgesaugt worden ist**).

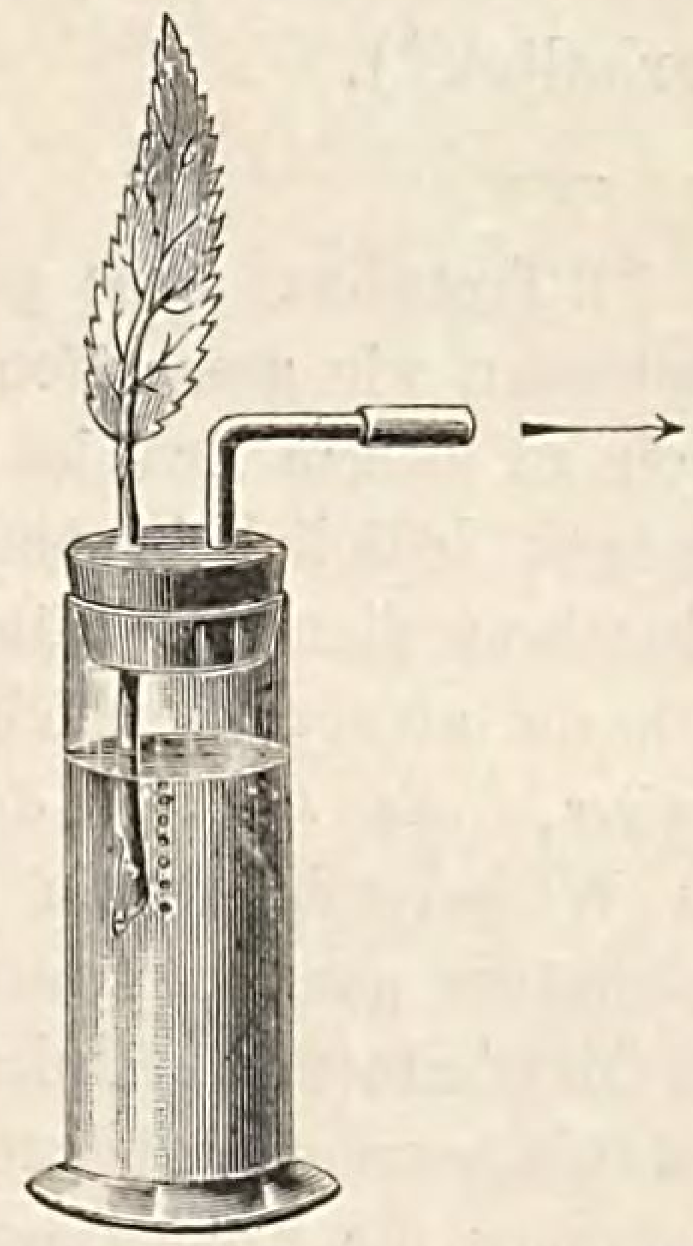


Fig. 21.

Durch diesen einfachen Versuch ist die Kommunikation der Spaltöffnungen mit den luftführenden Gefässen des Stengels durch die Intercellularräume hindurch bewiesen, da zu dem raschen Durchpressen der Luft durch die Zellen selbst, also durch eine ganze Reihe von gegen einfachen Drucküberschuss äusserst resistenten Membranen eine viel bedeutendere Kraft erforderlich wäre. In der That gelingt der Versuch bei der Umkehrung der ganzen Anordnung, wo also die Blattoberfläche in dem Rezipienten unter Wasser taucht, der Blattstiel mit der äusseren Atmosphäre in Berührung ist, nicht ohne weiteres, weil im Wasser die Spaltöffnungen durch eine eigentümliche Vorrichtung sich schliessen oder auch mit kapillar festgehaltenem Wasser sich verstopfen***). Durch dies Nichtgelingen ist aber jedenfalls gezeigt, dass man nicht einfach einen Luftstrom durch die Zellschichten treiben kann, sondern dass hierzu ein eigentümlicher Weg, dessen eines Ende die Spaltöffnungen sind, eingeschlagen werden muss.

*) Diese lufterfüllten Intercellularräume sollen den lebenden grünen Blättern das mattgrüne Ansehen (durch häufige Reflexion der einfallenden Strahlen an den Grenzflächen zwischen Luft und Zellsubstanz) geben; und in der That kann diese matte Färbung durch Verbringen eines Blattes in Wasser und nachheriges Evakuieren und ebenso durch Kochen der Blätter in Wasser — ich erinnere an die Farbe der gekochten grünen Gemüse —, durch welche Mittel die Luft der Intercellularräume durch wässerige Flüssigkeit ersetzt wird, in die gesättigte übergeführt werden. Solche Blätter nennt man injicert. Es ist dies dasselbe Verhältnis, welches man in der Malereitechnik wieder antrifft in den Ausdrücken Deckfarbe und Lackfarbe.

**) Vergl. J. Sachs: Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 216 u. ff. Der Druck, der für das Gelingen dieses Versuches notwendig ist, ist bei verschiedenen Pflanzen sehr ungleich. Bei Päoniazweigen gelingt der Versuch schon durch Saugen mit dem Munde.

***) Vergl. ebenda, p. 251.

Sehen wir nun zu, was die so demonstrierte Vorrichtung, welche sich in ihrer grössten Vollkommenheit nur in chlorophyllhaltigen Organen ausgebildet findet, der Pflanze für einen Nutzen bringen kann. — Jede Zelle des Blattparenchyms steht in Berührung mit den Intercellularräumen und ist so umspült von einer inneren Atmosphäre, welche durch die Spaltöffnungen hindurch mit der äussern Atmosphäre, aus welcher die chlorophyllhaltigen Zellen ihre Kohlensäure zu beziehen angewiesen sind, in kontinuierlichem Zusammenhange steht. Nun ist zwar der Pfad eng, auf dem die Gase der äusseren Atmosphäre in diese Intercellularräume und an die einzelnen Zellen gelangen können; allein wir müssen uns vorstellen, dass einerseits Diffusionsströme, welche durch den fortwährenden Kohlensäurekonsum und die damit verbundene Sauerstoffausgabe angeregt und unterhalten werden, dass andererseits fortwährende Druckdifferenzen, herbeigeführt durch Wind und die in den oberirdischen Pflanzenorganen durch Wechsel der Bestrahlung fort und fort erfolgenden Temperaturveränderungen, auch in jenen engen Kanälen einen lebhaften Gasaustausch unterhalten*).

*) Trotzdem diese geschilderten Vorkehrungen für eine Begünstigung der Kohlensäureassimilation wie geschaffen erscheinen, neigen übrigens viele Physiologen der Meinung zu, als ob zu diesem Zwecke der gewährte Vorteil zu entbehren wäre, und als wenn die Spaltöffnungen lediglich in einer nachher zu beschreibenden Weise als Regulativ für die Wasserverdunstung dienten. Nämlich die Kohlensäureaufnahme erscheint schon genügend unterstützt durch die ausserordentlich *hohe Diffusionsgeschwindigkeit*, welche diesem Gase *für die Verhältnisse, wie sie in der Pflanze herrschen*, zukommt. Die Zellmembran enthält ja stets Wassermoleküle in sich eingelagert und gestattet so der in Wasser leicht löslichen Kohlensäure ganz vorzugsweise rasch den Durchgang. Zusammenhängende grössere pflanzliche Membranen, Kutikularstücke frei von Spaltöffnungen, wurden experimentell auf die durch sie statthabende Gasdialyse untersucht und übereinstimmend gefunden, dass namentlich feuchte Membranen die Kohlensäure mit besonderer Raschheit diffundieren lassen und sodann auch dem Sauerstoff einen nicht unerheblichen Vorsprung gegenüber dem Stickstoff gewähren. Vergl. N. J. C. Müller in Pringsh. Jahrb., 1871—73, u. Barthélemy: Compt. rend. 1873, 11 août. Bei Versuchen mit trocknen Membranen werden diese Unterschiede abgeschwächt oder erhalten gar einen andern Sinn, was aus der allgemeinen Theorie der Membrandiffusion als leicht verständlich erscheint. Sodann sind hier noch folgende Versuche von N. J. C. Müller zu berücksichtigen, welche mit den unverletzten Blättern einiger grossblättrigen Pflanzen auf die Weise angestellt wurden, dass man mit Hilfe eines sehr sinnreich konstruierten, aber hier nicht näher zu beschreibenden Apparats verschiedene für die Pflanze unschädliche Gase unter erhöhtem Druck durch den Blattstengel zuleitete und die Zeit bestimmte, die bis zur völligen Ausgleichung des Drucks, die nur durch das Blatt hindurch stattfinden konnte, verlief. Da durch die Versuchsanstellung die Frage nach der Funktion der Spaltöffnungen bearbeitet werden sollte, so wurden bei derselben teils diese Öffnungen durch elektrische Reize geschlossen (was vermittelst der sehr reizbaren Schliesszellen geschieht), teils in ihrem gewöhnlichen Zustande belassen. In beiden Fällen nun, ob dem Diffusionsstrom der Gase die kapillaren Hohlräume zwischen den Zellen offen standen oder ob derselbe allein durch Zellen und Zellmembranen selbst ging, zeigte die Kohlensäure fast immer die bedeutendste Geschwindigkeit, während die Reihenfolge der sonst gewählten Gase, Wasserstoff und atmosphärische Luft, in Bezug auf ihre relative Geschwindigkeiten dadurch abgeändert wurde. — Vergl. auch die Boussingault'schen Resultate (Agronomie etc., IV, 1868, p. 399), wonach das Verstopfen jener Öffnungen durch Kleister die Sauerstoffabscheidung nicht vermindert. Allerdings experi-

Auf demselben Weg nun, auf dem die Kohlensäure in die chlorophyllhaltigen Zellen gelangt, wird der Sauerstoff, der bei der Verarbeitung jener erzeugt wird, aus diesen abgeschieden. Für diesen Vorgang, wie überhaupt für die Vorgänge der Gasausgabe kommen spezifische Diffusionsgeschwindigkeiten weniger in Betracht; die Zelle, die mit Sauerstoffgas übersättigt ist und an ein Gasgemisch grenzt, das verhältnismässig sauerstoffarm ist, wird eben an dieses seinen Überschuss abtreten und von der Diffusionsgrösse wird nur der Druck abhängen, bis zu dem eine Zelle sich mit dem abzuscheidenden Gase sättigt.

Abweichend sind nun die Verhältnisse des in Rede stehenden Austausches von Kohlensäure und Sauerstoff für *grüne unter Wasser lebende Gewächse.* Die Kohlensäureaufnahme kann bei diesen natürlich nur in Wasser gelöst, auf dem Wege der Flüssigkeitsdiffusion oder Osmose vor sich gehen, wobei der grosse Absorptionskoëffizient dieses Gases*) für Wasser sehr in Betracht kommt. Der Sauerstoff wird dagegen in seiner Diffusion bei viel geringerer Löslichkeit in Wasser begünstigt durch den grossen Partialdruck, den er bei intensiver Produktion erlangt, sei es nun, dass er wie bei den einfachst gebauten Algen aus jeder einzelnen Zelle direkt ins umgebende Wasser ausgestossen wird, sei es, dass, wie bei den höhern untergetauchten Wasserpflanzen, das Gas zunächst in die innern Hohlräume der Pflanze tritt, bis er dort, nach Erlangung eines sehr bedeutenden Drucks, durch eine zufällige Verletzung in einem grossen Blasenstrom entweicht. Genau so verhalten sich auch Luftpflanzen, wenn man sie bei intensiver Beleuchtung unter kohlensäurehaltiges Wasser bringt, wie wir es früher**) gesehen haben.

Neben diesem Gasaustausch, wie er zum Zustandekommen des Reduktionsprozesses in der chlorophyllhaltigen Zelle unerlässlich ist, kommt dann der viel allgemeiner verbreitete, obwohl durchschnittlich mit sehr viel geringerer Intensität sich vollziehende umgekehrte *Gasaustausch der Sauerstoffaufnahme* und *Kohlensäureabgabe* in Betracht.

Es sind nun zwei sehr handgreifliche Gründe vorhanden, die besondere Vorrichtungen zur Begünstigung dieses Gasaustausches entbehrlich erscheinen lassen: einmal die sehr viel geringere Intensität, mit der sich der Prozess der Oxydation jenem Reduktionsprozess gegenüber gemeiniglich vollzieht, und dann die ausserordentliche Begünstigung eines derartigen Vorgangs durch die Zusammensetzung der

mentierte Boussingault in sehr kohlensäurereichen Gemischen, für welche der möglichst rasche Gasaustausch keine so grosse Bedeutung haben konnte. Auch hat später (Compt. rend., T. 105, 1887, p. 879) Mangin nachgewiesen, dass Gelatineverschluss allerdings die produzierende Funktion der Blätter herabsetzt.

*) Vergl. hierüber Bunsen: Ann. d. Chem. und Pharm., B. 93, p. 49. Dieser hohe Absorptionskoëffizient der Kohlensäure veranlasst es, dass die im Wasser gelösten atmosphärischen Gase da, wo die Sättigung unter gewöhnlichen Verhältnissen stattgefunden hat, durch ihren der Zusammensetzung der Atmosphäre gegenüber ausserordentlich grossen Kohlensäuregehalt das Pflanzenleben vorzugsweise begünstigen. Am meisten tritt in diesem Gasgemisch der Stickstoff zurück, der in der Atmosphäre nur die Rolle eines Verdünnungsmittels spielt. — Die Bedeutsamkeit dieses Verhaltens ist leicht erkenntlich.

**) Vorl. II, p. 25.

Atmosphäre. Diese letztere enthält ungefähr 20 % Sauerstoff und weniger als $^1/_{20}$ % Kohlensäure, also mehr als die 400fache Menge des zur Atmung unentbehrlichen Gases. Dieses Verhalten macht es möglich, dass auch ohne besondere Bevorzugung der Sauerstoffaufnahme an allen Orten der Pflanzen, auch tief im Innern ihres Gewebes, genügende Mengen dieses unentbehrlichen Gases vorhanden sind. Soweit feuchte Membranen zu durchsetzen sind, kommt übrigens der Vorsprung, den der Sauerstoff nachgewiesenermaassen bei der Dialyse durch solche dem Stickstoff gegenüber gewinnt, sehr in Betracht*). Gelegentlich mögen dann auch die Einrichtungen der Spaltöffnungen und luftführender Intercellularräume dem Austausch der Atmungsgase günstig sein, wie ähnliche Vorkehrungen sogar für den Holzkörper dicker Bäume, der allerdings durch das Korkgewebe besonders dicht von der äusseren Atmosphäre abgeschlossen ist, in den die Rindenschicht durchsetzenden Lenticellen nachgewiesen werden konnten. Es ist weiter darauf aufmerksam zu machen, dass in den chlorophyllhaltigen Organen selbst die Atmung noch durch die dort im Lichte erfolgende Sauerstoffabscheidung möglicherweise begünstigt wird, wie denn überhaupt beide einander entgegengesetzten Prozesse sich notwendig gegenseitig unter die Arme greifen müssen, und auch obwohl in geringerem Grade die durch die Atmung produzierte Kohlensäure, soweit sie in den chlorophyllhaltigen Organen Entstehung nimmt oder in diese durch die luftführenden Gefässe durch Diffusion und Druckwechsel gelangen kann, dem Prozess der Reduktion — freilich nur zur Wiedergewinnung von eben Verlorenem – in die Hände arbeiten wird.

Die Wasserpflanzen sind in Bezug auf den zur Atmung notwendigen Gasaustausch etwas übler daran; doch bleibt zu erinnern, dass ja eine grosse Anzahl von Tieren, wie z. B. alle Fische, die doch einen sehr viel intensiveren Atmungsprozess unterhalten, auf den im Wasser aufgelösten Sauerstoff angewiesen sind. Vielleicht versehen auch die im Sonnenschein mit sauerstoffreicher Luft sich füllenden grösseren Luftbehälter im Innern vieler höheren Wasserpflanzen ausser einigen andern Diensten, die sie diesen Organismen leisten, den einer innern, eine lebhafte Atmung unterstützenden, Atmosphäre. Die bei der Atmung solcher Wasserpflanzen entstehende Kohlensäure entweicht natürlich durch Diffusion mit grosser Raschheit in das umgebende Wasser, sowie eine Übersättigung des atmenden Zellinhalts eingetreten ist.

Über die Aufnahme des Ammoniaks in Gasform ist bei der geringen Bedeutsamkeit dieses Vorgangs hier natürlich wenig zu sagen. Die wasserhaltigen Zellhäute, in welchen oder in deren unmittelbaren Nähe sich freie Pflanzensäuren befinden, besitzen natürlich für dieses Gas ungewöhnliche Anziehungskräfte, so dass hierdurch dessen Assimilation zweifellos begünstigt würde, wären nur nicht die Fälle so seltene, wo irgend erhebliche Mengen an jenem fruchtbringenden Gase in der Atmosphäre vorhanden sind.

Von sehr grosser Bedeutung für alle Luftpflanzen ist dagegen die Abgabe von Wasser in Gasform durch die oberirdischen Organe, die sogenannte *Transpiration*, welche als physiologische von mancherlei Umständen abhängige Erscheinung diesen besonderen

*) Barthélemy: A. a. O.

Namen erhalten hat. Diese Erscheinung lässt sich aber zunächst vom Standpunkt des Stoffwechsels, wie wir ihn bisher betrachtet haben, nicht verstehen. Wir wissen, dass bei der Produktion von organischer Substanz neben Kohlensäure das Wasser als notwendiger Nährstoff durchaus nicht entbehrt werden kann; wir wissen in gleicher Weise, dass bei den Oxydationserscheinungen Wasser umgekehrt entsteht; und da jener erstere Prozess in der höheren chlorophyllhaltigen Pflanze normal in überwiegendem Maasse vollzogen wird, so ist das Stattfinden einer kontinuierlichen Ausscheidung einer sehr bedeutenden Menge von Wasser, wie sie in der Luftpflanze unausgesetzt vor sich geht, aus diesen Gesichtspunkten unerklärlich.

Es konnte nun schon aus vielen Punkten unserer bisherigen Darstellung erschlossen werden, dass im pflanzlichen Organismus, wie in allen andern, das Wasser nicht bloss, wie wesentlich die Kohlensäure, die Rolle eines Anfangs- und Endgliedes des Stoffwechsels spielt, sondern dass ihm daselbst auch noch ganz andere Funktionen obliegen, die sich nicht unter jene Begriffe unterordnen lassen. Das Wasser ist in der That der Vermittler aller Lebensvorgänge in den Organismen, wie diese Prozesse auch heissen mögen. Und so enthalten auch alle Pflanzenteile viele Prozente von Wasser, und gerade diejenigen, in denen lebhafte Vegetationsvorgänge sich abwickeln, sind immer reich daran. Verhältnismässig wasserarm sind nur einzelne der Neubildung unfähige Gewebe wie das Holz; sehr wasserarm nur Organe, in denen zur Zeit vollkommene Ruhe von den Geschäften des Lebens herrscht, wie die Samen.

Das Wasser ist in sehr grossen Mengen ein konstituierender Bestandteil einer jeden Zellhaut, in die seine Moleküle regelmässig eingelagert gedacht werden müssen, des Protoplasmas und natürlich der Zellflüssigkeit selber. Das Wasser ist ferner das allgemeine Lösungs- und Transportmittel für von der Pflanze gebildete Substanzen, die der Wanderung unterliegen, und für neu aufzunehmende Bestandteile. Diese letztere Funktion werden wir sehr bald bei Betrachtung der Vorgänge der Osmose in ihrer Anwendung auf die Stoffaufnahme noch näher kennen lernen.

Die Bedeutung des Wassers für das Pflanzenleben, wie für die Existenz eines jeglichen Organismus, ist in der That *in Bezug auf Quantität* seine Bedeutung als Rohstoff zur Produktion von organischer Substanz so um das Vielfache überragend, dass jene geradezu als verschwindend dagegen erscheint*).

*) Durchschnittlicher Wassergehalt verschiedener Pflanzenteile.

Kartoffeln	Knollen	76,0 %	Berechnung nach vielen Analysen. Vergl. Heiden: Düngerlehre I, p. 167.
	Kraut	85,1 „	
Turnips	Wurzel	91,0 „	
	Blätter	88,5 „	
Runkelrüben	Wurzel	88,2 „	
	Blätter	90,8 „	
Zuckerrüben	Wurzel	81,9 „	
	Blätter	89,7 „	
Tabak	Blätter	87,1 „	
	Stengel	85,8 „	
	Wurzel	84,1 „	
Gras		72 „	
Roter Klee		79 „	
Futtermais		81 „	

Die grossen Mengen von Wasser, welche der Pflanze nun zu den eben dargelegten Zwecken unentbehrlich sind, bleiben bei den Luftpflanzen dem Individuum nicht von Anfang bis zu Ende seiner Vegetation erhalten, sondern bei diesen Organismen durchströmt ein mächtiger Wasserstrom die Pflanze, in die Wurzeln in flüssiger Form eindringend, der Schwerkraft entgegen aufsteigend und aus den oberirdischen Organen in Dampfform entweichend. Gegen diesen mächtigen Strom erscheinen der Verbrauch an Wasser bei der Produktion von organischer Substanz und dessen Wiedererzeugung durch Verbrennung dieser Substanz in der Pflanze nur als kleine Abzugsgräben oder zufliessende Bächlein, deren Wirkung geradezu vernachlässigt werden darf. Unsere gewöhnlichen Kulturgewächse verdunsten z. B. die 250—400fache Menge Wasser, als sie in der gleichen Periode organische Trockensubstanz produzieren.

Es wird eine Aufgabe sein, die erst bei näherer Betrachtung der osmotischen Erscheinungen in der Pflanze gelöst werden kann, diesen Wasserstrom, der unausgesetzt die Luftpflanze durchströmt, zu erklären, sowie nach dessen physiologischer Bedeutung zu fragen. Hier haben wir es nur mit der Verdunstung zu schaffen, die allerdings jenen Strom wesentlich bedingt. Die Verdunstung findet hauptsächlich an den krautartigen Teilen der oberirdischen Pflanze statt, an den Laubblättern und den andern jungen Organen. Die älteren Teile des Stammes und der Zweige sind regelmässig von dichten korkartigen Gewebeschichten umkleidet, die eine Wasserverdunstung ausserordentlich erschweren; die verkorkten oder mit Wachs imprägnierten Zellmembranen sind sehr wenig imbibitionsfähig und darum sehr schlechte Vermittler des Wasseraustausches. In erster Linie sind es die grünen, reichlich mit Spaltöffnungen versehenen Laubblätter, die auch für die Verdunstung die günstigsten Bedingungen in sich vereinigen; daneben natürlich auch die in der Regel noch zarten organisierten Blumenblätter, die aber quantitativ nicht sehr ins Gewicht fallen.

Die Ursachen der Vergasung des Wassers zunächst aus direkt mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Zellen liegen auf der Hand. Die Atmosphäre stellt ein Gasgemisch dar, das trotz der forwährend in sie hinein stattfindenden Verdunstung in den wenigsten Fällen mit Wasserdampf gesättigt ist, einfach deshalb, weil regelmässige Niederschläge erfolgen und durch die vielfachen Bewegungs-

Lindenblätter	55,0 %	Angaben von Ziurek.
Eichenblätter	57,4 „	
Fichtenholz	56 %	Durchschnittsberechnung nach Hartig's Angaben.
Eichenholz	35 „	
Weidenholz	42 „	
Bohnensamen	7,9 %	Angaben von Ziurek. (Technolog. Tab. 1863.)
Linsensamen	9,0 „	
Buchweizensamen	12,5 „	
Neuer Maissamen	18,0 „	
Hafersamen	14,0 „	
Reissamen	13,4 „	
Verschiedene Schwämme	87—96 %	Schlossberger u. Döpping: Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 52, p. 106.

erscheinungen im Luftmeer*) und dessen Erwärmung wieder reiche Gelegenheit für mit Wasserdampf gesättigte Luftmassen gegeben ist, sich durch Mischung mit trockneren atmosphärischen Gasen von neuem wieder aufnahmsfähig für Wasser zu machen.

Die an die Atmosphäre grenzenden Pflanzenzellen erleiden infolge der beinahe unter allen Umständen ungesättigten Dampfspannung Wasserverluste, gerade wie ein offen an der Luft stehendes Glas mit Wasser. Die mit Wasser durchtränkte Zellhaut vermittelt diese Wasserabgabe, indem sie ihre eignen Verluste, vermöge der ihr eigentümlichen Anziehungskraft für Wasser, grossenteils aus dem Wasser des Zellinhalts ersetzt. — Schon aus diesem Umstande können wir schliessen, dass bei dieser Verdunstung eine Arbeit geleistet wird, indem zunächst die Anziehungskraft der Zellhäute für Wasser überwunden werden muss, die dann weiter wirkt. Ich mache hier schon auf diesen Umstand aufmerksam, weil sehr bald wichtige Schlüsse aus diesem Verhalteu gezogen werden sollen.

Man kann nun allerdings insofern nicht ganz strenge behaupten, dass jene Tension die Transpiration allein veranlasse, da auch die Pflanzen in eine engbegrenzte und ganz mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre hinein verdunsten**), so dass Wasser an den Wänden des Rezipienten, in dem man den Versuch anstellt, sich niederschlägt. Allein hier ist es vermutlich die sehr geringe Wärmeproduktion infolge der Atmung oder der Belichtung***), welche in diesem ungünstigsten Falle die Transpiration noch ermöglicht. Dieselbe ist aber unter diesen Umständen sehr gering und nimmt erst bei abnehmender Feuchtigkeit der Luft erhebliche Werte an, um bei grosser Trockenheit auch sehr, wenn auch nicht — und dies ist eine Folge von regulatorischen Einrichtungen in der Pflanze selbst — ganz entsprechend gross zu werden. Sodann spielen Licht und strahlende Wärme eine Rolle bei der Verdunstung offenbar schon deshalb, weil durch sie die Temperatur der verdunstenden Organe erhöht und Luftströmungen veranlasst werden. Sehr auffällig ist z. B. einem jeden, der regelmässig Topfpflanzen begossen hat, wie ganz ausser Verhältnis der grösseren Wärme und Trockenheit im Sonnenlichte der Wasserbedarf ein vielfacher ist von dem an trüben Tagen, eine Erscheinung, für deren vollständige Erklärung

*) In Bezug auf den kolossalen Einfluss dieser Bewegung der Luft vergl. Wiesner: Wiener Sitzungsber. 96, p. 182.

**) Vergl. Sachs: Handb. d. Experim.-Phys. d. Pfl., p. 227; dagegen Boehm: Sitzungsberichte d. Wiener Akademie, 48, p. 15; und später C. Eder: Sitzungsber. d. k. sächs. Akad. d. Wisssensch., 1875, Oktober. Von anderen Arbeiten auch noch Mac Nab: Transact. a. Proceed. of the Botan. Soc., Vol. 11, und Dehérain: Ann. d. Scienc. nat., T. 12, p. 1. Unger hat (vergl. Heiden: Düngerlehre, I, p. 177) die Menge des verdunsteten Wassers bei zwei gleichartigen Pflanzen bestimmt, von denen die eine frei in der Luft sich befand, während bei der andern die Verdunstung durch Bedecken mit einer Glasglocke soweit verhindert wurde, als sie sich durch Sättigung der Luft mit Wasserdampf verhindern lässt. Das Verhältnis der transpirierten Wassermengen ergab sich, auf die Flächeneinheit des Blattes berechnet, gleich 10,4 : 1, ist aber natürlich von der Trockenheit etc. der bei dem einen Versuch mitwirkenden Atmosphäre abhängig.

***) Vergl. Henslow: Naturw. Rundschau, 1888, p. 427.

wieder der gleich zu besprechende Mechanismus der Spaltöffnungen in Anspruch genommen werden muss.

Aus alledem ergiebt sich ein bemerkenswerter Unterschied in betreff der Ausgabe der Zellen an Wassergas jener Ausgabe von Kohlensäure und Sauerstoff gegenüber, von der wir vorher gesprochen haben. Dort war immer die Neuerzeugung dieser Gase die nächste Veranlassung zur Störung des Gleichgewichts zwischen Pflanzenzelle und Atmosphäre und somit zu einem Diffusionsstrom. — Hier sehen wir eine andere, man kann sagen, *äussere* Ursache, die fortwährende Bewegung veranlassen; ein Gleichgewicht kann, so lange die Zelle lebt, nicht eintreten, denn diese ist während des Lebens notwendig wasserreich, die Atmosphäre verhältnismässig wasserarm und nicht mit Wasserdampf gesättigt, und so besteht zur Ausgleichung dieses Ungleichgewichts ein konstanter Diffusionsstrom, dessen Wirkung nur dadurch für das Pflanzenleben unschädlich gemacht werden kann, dass die Pflanzenzelle von anderer Seite wieder das verlorene Wasser ersetzt.

Wir haben vorhin gesagt, dass vorzüglich die krautartigen Teile der Luftpflanze und ganz besonders die am reichsten mit Spaltöffnungen versehenen Laubblätter der Sitz der lebhaftesten Gasdiffusionserscheinungen sind. Es ist klar, dass diese Einrichtung der mit den Spaltöffnungen in Verbindung stehenden intercellularen Räume die Verdampfung des Wassers wesentlich begünstigen muss, weil dieselbe gerade wie die tierische Lunge gestattet, eine verhältnismässig viel grössere Menge Luft mit den verdunstenden Gewebeelementen in Berührung zu bringen. Hier werden die Diffusionserscheinungen dieses intercellularen Kanalsystems (ebenso wie die durch Druckwechsel, abwechselnde Erwärmung und Abkühlung und dergleichen veranlassten Strömungen in demselben) es bewirken, dass in diesen Räumen niemals ein völlig dampfgesättigtes Gasgemisch sich befindet, und so wird diese Einrichtung — ganz abgesehen von der an sich schon grossen Oberfläche der Blätter selber — für die Transpirationserscheinungen sich wie eine Vergrösserung der Oberfläche verhalten. Aus derselben Ursache unterhält ja auch stark befeuchtete Erde unter Umständen eine stärkere Verdunstung als eine offene Wasserfläche.

Man hat die Transpirationsgrössen der beiden Seiten eines Blattes, die sehr ungleich reich an Spaltöffnungen sind, miteinander verglichen und so die innige Beziehung jener Grösse zu dem Vorhandensein dieser Öffnungen festgestellt. Daraus geht zugleich hervor, was sich auch durch andere Versuche direkt beweisen lässt, dass die kutikularisierten Oberhäute der Zelle wenig durchlässig für Wasser in irgend einer Aggregatform sind.

Dieselben Teile der Pflanze, die unfähig sind zu einem lebhaften Austausch von Kohlensäure und Wasserstoffgas, zeigen sich demnach auch den Verdunstungserscheinungen sehr wenig zugänglich. Es sind dies alle stark kutikularisierten Gebilde und besonders die mit einer dickeren Korkschicht umkleideten älteren Teile des Stammes und der Aeste. Diejenigen Veränderungen der Zellhaut, die wir als Kutikularisierung und Verkorkung derselben bezeichnen, machen dieselbe, wie wir früher schon hervorgehoben haben, zu einer Membran von geringer Imbibitionsfähigkeit und wohl darum auch weniger fähig, einen lebhaften Gaswechsel durch sie hindurch bestehen zu lassen. Zudem fehlen in diesem Gewebe, von der schon er-

wähnten Entwicklung der Lenticellen in besonderen Fällen abgesehen, die intercellularen Zwischenräume, welche bei den Blättern die Verdunstungserscheinungen so sehr bedingen. So kann die Rinde des Stamms und der älteren Äste, namentlich der perennierenden Gewächse als ein beinahe hermetischer Abschluss gegen Gase und besonders gegen Wasser angesehen werden, wie ja bekanntlich Korkstöpsel einen vortrefflichen Verschluss für kohlensäurehaltige Getränke abgeben. Auch ist aus der Handhabung mehrerer Imprägnierungsmethoden, vor allem von denen nach der Methode von Boucherie, das gleiche Verhalten ersichtlich, das sich nun auch bei der Durchströmung der Luftpflanzen von Wasser in hohem Grade geltend macht.

Bei verschiedenen Pflanzen mit ungleich ausgebildeten oberirdischen Organen, mit Blättern von verschiedener äusserer Gestaltung und verschiedenem Reichtum an Spaltöffnungen, mit ungleich stark kutikularisierten und zur Verdunstung geeigneten Oberhäuten etc. findet nun auch selbstredend bei völlig gleichmässigen äussern Verhältnissen (relativer Trockenheit) eine sehr verschieden starke Transpiration statt. In diesen Unterschieden der Beschaffenheit der betreffenden Pflanzenteile, die sie der Transpiration mehr oder minder zugänglich machen, ist nun häufig ein *Korrektiv gegen die ungleichen äusseren Verhältnisse,* welche an einem Ort weit mehr zur Verdunstung disponieren als am andern, die ferner bei Pflanzen in verschiedenen Klimaten eine zu starke Verdunstung in sehr verschiedenem Grade gefährlich für ihr Fortbestehen erscheinen lassen, zu erkennen. Ich will hier nur ein sehr auffälliges Beispiel dieser Art erwähnen, dass z. B. die Wüstenpflanzen, wie namentlich die Cactusarten, die auf einem sehr trocknen Boden wachsen und über sich eine glühend heisse und wasserarme Atmosphäre haben, gegen die Verdunstung auf alle mögliche Art durch eine stark kutikularisierte Oberhaut, Armut an Spaltöffnungen und dergleichen*) geschützt sind. Im andern Falle wäre die Existenz solcher Pflanzen überhaupt nicht denkbar und durchaus unfasslich, wie die halbverschmachteten Karawanen in der Wüste auf Pflanzen stossen könnten, die durch ihren frischen Saft Mensch und Tier erquicken. Hierhin gehört auch die schon von Hales gemachte Beobachtung, dass immergrüne Gewächse mit ihren lederartigen Blättern weniger Wasser verdunsten als Pflanzen mit zärteren Sommerblättern**).

Dass ausserdem die Verdunstungsgrösse bei einer Pflanze wesentlich abhängen muss von den Anziehungskräften der im Zellsaft gelösten Körper, von deren substantieller Beschaffenheit und deren Menge, also der Konzentration des Zellsafts, ist einleuchtend. So ist es eine Thatsache, dass man durch Zuführung von Salzen***) in die Pflanze die Transpiration manchmal wesentlich herabdrücken kann — ein Verhalten, das aus dem eben gegebenen Gesichtspunkte leicht zu deuten ist. Auch die gelegentliche verminderte Transpiration infolge des Statthabens des Produktions-

*) Vergl. über diesen Punkt die Studien von Giltay: Ned. Kruidk. Archief D. IV, 4 St., 1886.

**) Hales: Statik der Gewächse. Halle 1748, p. 58. — Vergl. auch Pfitzer: Botan. Zeitung, 1869, p. 526.

***) Vergl. über diesen Gegenstand die Angaben von Sachs (Landw. Versuchsst., 1859, p. 203), u. namentlich Burgerstein: Akad. d. Wissensch. zu Wien, B. 73, 1876, Märzheft.

prozesses*) gehört hierher, weil durch diesen der Inhalt an organischen Inhaltsstoffen vermehrt wird. Bestimmte Zahlen über die sehr variable Verdunstungsgrösse der verschiedenen Pflanzen anzuführen, hat hier keinen Zweck.

Einer Vorrichtung müssen wir indessen hier noch in kurzem gedenken, welche zunächst für die Ökonomie des Wassers in höheren Gewächsen von der grössten Bedeutung zu sein scheint. Die Spaltöffnungen vermögen sich, wie schon gelegentlich erwähnt wurde, zu schliessen und zu öffnen. In Bezug auf diese Mechanik ist nun gezeigt worden, dass bei turgescentem Gewebe umgekehrt, wie man erwarten sollte, die Spaltöffnungen durch eine Gestaltsänderung der Schliesszellen sich erweitern**), so dass dadurch zunächst der Verbrauch an Wasser in Zeiten des Bedarfs eingeschränkt zu werden scheint.

Die Turgescenz der die Spaltöffnungen begrenzenden Schliesszellen, welche ein Öffnen derselben bewirken, geht nun aber nicht einfach parallel mit dem Saftreichtum des umgebenden Gewebes und deswegen liegt vielleicht in der regulatorischen Einwirkung auf den Verdunstungsstrom noch keineswegs der Schwerpunkt der Funktion jener kleinen Öffnungen.

Die Schliesszellen, welche schon durch ihren stäten Gehalt an Chlorophyll von den übrigen Oberhautzellen sich unterscheiden, reagieren in ihren Schwellungszuständen stark auf äussere Reize, unter denen das Licht eine hervorragende Rolle spielt***). Infolge hiervon wird gerade während des Sonnenscheins das Zustandekommen eines starken Wasserstromes begünstigt und so erklärt sich die vorhin erwähnte Erfahrung, dass man Topfpflanzen nach sonnigen Tagen so viel stärker giessen muss als nach trüben, wenn auch Trockenheit und Wärme der Luft nur wenig Änderung erlitten haben. Den Nutzen dieser Vorrichtung aber werden wir darin zu suchen haben, dass die im Lichte stark assimilierende Pflanze eines grösseren Zuschusses von mineralischer Nahrung aus dem Boden bedarf und dass ihr dieser Zuschuss durch den infolge der Verdunstung stärker fliessenden Wasserstrom geliefert wird. Von der Beziehung dieses Wasserstroms zu der Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln werden wir noch später zu reden haben†).

*) Powell: Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1889, p. 644.

**) In Bezug auf die Mechanik der Spaltöffnungen vergl. namentlich J. Sachs: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, p. 298.

***) Dass dieser Reiz auf Wasseranziehung und Schwellung, veranlasst durch Assimilationsprodukte beruhe, dem widerspricht die in der Anm. *) soeben niedergelegte Thatsache. Um eine allgemeine Erklärung zu gewinnen, müssten daher zunächst die Powell'schen Erfahrungen verifiziert und vervielfältigt werden.

†) Die zuletzt behandelten Beziehungen berechtigen vor allem zu der Auffassung, dass die Transpiration kein einfach mechanischer, sondern zugleich ein physiologischer Prozess sei. Vergl. Sorauer: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, III, p. 352, eine Arbeit, die viel interessante Details enthält. Auch Gilbert (Brit. Assoc. f. t. Advanc. of science, Aberdeen 1885), woraus hervorgeht, wie sehr die Assimilationsenergie abhängt von anwesenden Aschenbestandteilen. Sehr früh ist dieser Zusammenhang der Dinge auch erkannt durch einen Schüler H. v. Mohl's, M. Ströbele: Über die Funktionen der Blätter, Tübingen 1836.

Man kann sich weiter die Frage stellen, ob die Abgabe von Wassergas aus dem pflanzlichen Organismus auch unter Umständen einer Aufnahme in dieser Form entspricht. Wir wollen uns zunächst überlegen, was sich aus den bisher ins Auge gefassten Verhältnissen in dieser Richtung folgern lässt. Es ist ersichtlich, dass, wenn wir uns eine Pflanzenzelle von der Wasserzufuhr in flüssiger Form abgeschnitten denken, ein *Gleichgewichtszustand* zwischen der Zelle und der Atmosphäre in Bezug auf ihren beiderseitigen Wassergehalt notwendig eintreten muss. Dieser Gleichgewichtszustand wird bedingt sein von den wasseranziehenden Kräften der Pflanzenzelle einerseits, von dem Feuchtigkeitszustand und der Temperatur der Atmosphäre (wovon das Bestreben des flüssigen Wassers, Gasgestalt anzunehmen, abhängig ist) andererseits und ausserdem noch von der Wärmemenge, die durch chemische Umsetzungen in der Zelle erzeugt wird. Es lässt sich nun mit Bestimmtheit voraussagen, dass nach Eintritt eines solchen Gleichgewichtszustandes bei einer von anderweitiger Wasserzufuhr abgeschnittenen Zelle diese letztere zur Kondensation von gasförmigem Wasser und Überführung desselben in ihre Zellhaut und unmittelbar in ihr Inneres schreiten wird, sobald jener Gleichgewichtszustand z. B. durch Feuchterwerden der Atmosphäre geändert wird, gerade wie umgekehrt durch Trocknerwerden derselben die Transpiration Fortschritte machen wird.

Freilich scheint in Wirklichkeit der Eintritt dieses Verhaltens einer sehr grossen Welkheit der betreffenden Organe zu entsprechen, gewiss einer so grossen, dass das Leben dieser Organe gleichzeitig erlöschen würde, so dass von einer praktischen Bedeutsamkeit eines solchen Kondensationsvermögens nicht die Rede sein kann. Es muss vielmehr zugegeben werden, dass *für unsere gewöhnlichen kultivierten Luftpflanzen* selbst bei sehr grosser Trocknis des Bodens und relativer Feuchtigkeit der Atmosphäre die Möglichkeit praktisch nicht besteht, auf diesem Wege durch Kondensation von Wassergas sich Wasser anzueignen, da die mit der Atmosphäre in Berührung stehenden Zellen wohl in allen Fällen noch mit Aufwendung geringerer Kräfte flüssiges Wasser aus dem angrenzenden Pflanzengewebe und von diesem weiter aus dem Boden werden aufnehmen können.

Wenn wir sehen, dass eine feuchte Atmosphäre eine verwelkte, nur verhältnismässig geringe Menge Wasser enthaltende Pflanze wieder in den Zustand der Saftfülle zurückzubringen vermag, so ist dies eben nicht einer Wasserzufuhr aus der Luft, sondern nur dem Schutze zuzuschreiben, der einer Pflanze unter solchen Umständen gegen weitere Transpiration gewährt wird, und der Möglichkeit, während dieser Zeit genügende Mengen flüssigen Wassers aufzusaugen, um wieder saftreich und turgescent zu werden*).

*) Es giebt dagegen mit einiger Wahrscheinlichkeit eine Reihe von unseren Betrachtungen ferner liegenden Pflanzen, bei denen die Aufnahme von Wasser aus der Atmosphäre durch Kondensation als ein regelrechter Ernährungsvorgang in Erwägung gezogen werden muss. Es lässt sich dies nun freilich nicht mit irgend zureichender Sicherheit oder auch nur mit Wahrscheinlichkeit von allen den in regenlosen Zonen lebenden Pflanzen annehmen, namentlich da in solchen Gegenden der Tau eine sehr grosse Rolle spielt. Allein es kann jene Behauptung für viele flechtenartige Gewächse, die wir bei grosser und lang andauernder Trockenheit auf wasserfreien und nicht mit hygroskopischen Eigenschaften

Hiermit wären die wichtigeren Vegetationsvorgänge, bei denen ein Gasaustausch mit ins Spiel kommt, mit einer für unsern Zweck genügenden Ausführlichkeit behandelt. Wir verlassen nun diese Gasdiffusionserscheinungen, um uns mit den analogen Vorgängen bei der Aufnahme und Ausgabe von Flüssigkeiten, *mit den osmotischen Vorgängen bei der Pflanzenernährung* zu befassen.

Wir werden zuerst von dem einfachsten Falle osmotischer Stoffaufnahme reden, wie er sich bei Organismen, die ausschliesslich in einem wässerigen Medium leben, verwirklicht, um dann später, gestützt auf die Resultate dieser Untersuchung, den verwickelteren Fall der osmotischen Vorgänge, wie er sich bei den Luftpflanzen, die mit einem Teil ihres Körpers in ein wässeriges Medium, mit dem grösseren Teil aber in die Luft ragen, darbietet.

Die osmotischen Erscheinungen an einer *einzelnen, von wässeriger Flüssigkeit umgebenen Pflanzenzelle,* sei es nun eine Pilzzelle oder eine chlorophyllführende Algenzelle, sind auf der gegebenen Grundlage verhältnismässig leicht verständlich. Wir haben es hier in der Zellhaut mit einer Membran zu thun, die bei den Diffusionserscheinungen ihre eigentümlichen Anziehungskräfte geltend macht und so verschiedenen Stoffen mit verschiedener Leichtigkeit Eingang verstattet. In ähnlicher, wenn auch quantitativ sehr abweichender Weise werden die spezifischen Anziehungskräfte der Zellflüssigkeiten selber, vor allem des Protoplasmas und der diese umkleidenden hautartigen Verdichtungsschichte, wirken und zwar hat man je länger je deutlicher eingesehen, dass gerade die letztgenannte, früher bekanntlich als Primordialschlauch bezeichnete Membran, für die Praxis der Pflanzenphysiologie von der hervorragendsten Bedeutung ist.

Es ist namentlich die Erscheinung der sogenannten *Plasmolyse,* die neuerdings für manche theoretischen Probleme von so grosser Bedeutung geworden ist, welche in dieser Beziehung einige ganz unzweideutige Beweise bringt. Legt man in eine Lösung von Zucker oder irgend einem Salze von erheblicher Konzentration Durchschnitte von Pflanzenteilen mit unverletzten Zellen, so sieht man eine Konzentrationserscheinung der letzteren. Dieser Vorgang deutet zunächst nur darauf, dass die wässrigen Bestandteile des Zellinhalts schneller nach aussen treten, wie der gelöste Körper der die Konzentration der Zelle bewirkenden Flüssigkeit nach innen, eine Erscheinung, die selbst bei ziemlich krystalloïden Stoffen nach früher über die Osmose Gesagtem nicht wunder nehmen kann. Allein die Kontraktion betrifft, wie

begabten Böden, wie auf nackten Felsen ganz üppig gedeihen sehen, mit einigem Erfolge verfochten werden. Für die gleiche Thatsache sprechen die Versuche Unger's, nach welchen die Luftwurzeln mancher Pflanzen ein beträchtliches Kondensationsvermögen besitzen. Ferner müssen vielleicht diejenigen Pflanzen, die ganz lange Vegetationsperioden hindurch wie Ficus Australis leben, ohne überhaupt in Berührung mit dem Boden oder mit flüssigem Wasser zu kommen, wenn sie dabei wachsen und ihr Volum vermehren, auch durch eine derartige Kondensation ihr Wasser aufnehmen. Indessen ist dieser ganze Gegenstand bei der häufigen Verwechselung zwischen Betauung und selbstthätiger Kondensation einer wiederholten Bearbeitung dringend bedürftig. Zuweilen ist auch jede Gewichtszunahme auf Wasseraufnahme gedeutet, während sie doch auch auf Oxydation ohne Kohlensäureausgabe z. B. bei Crassulaceen beruhen kann.

die näheren Details der Erscheinung beweisen, nicht etwa in erster Linie die Zellwand, welche vielmehr ziemlich unverändert in ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage beharrt und in manchen Fällen nur zu Anfang schrumpft, sondern hauptsächlich das Protoplasma, welches sich infolge des Schrumpfens an vielen Stellen von der Zellwand loslöst (vergl. Fig. 22). Der Augenschein beweist also, dass der die Kontraktion bewirkende Körper, der Salpeter beispielsweise, ein Krystalloïd ist für die Zellwand, ein Colloïd für das wandständige Protoplasma, oder dass das letztere eine sehr dichte Membran ist, die Körper von verhältnismässig kleinem Moleküle nicht oder nur verhältnismässig langsam durch sich hindurchlässt*).

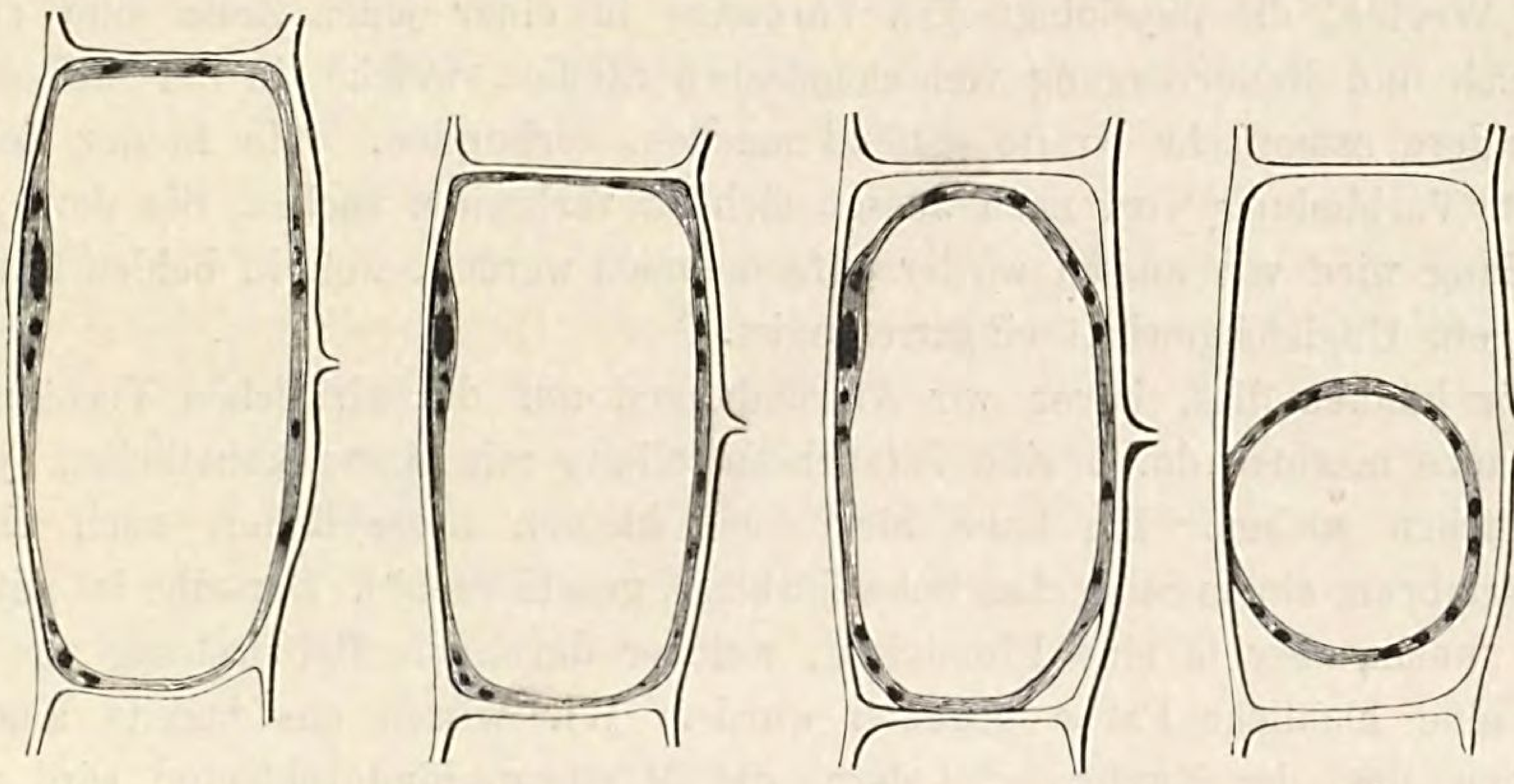

A B C D

Fig. 22. Junge Parenchymzelle v. Cephalaria. A normal. B—D steigende Mengen Salpeter.

Allein diese Anziehungskräfte mögen sein, welche sie wollen, immer wird ein Gleichgewichtszustand in der Weise gedacht werden können, dass die Kräfte, die irgend eine Substanz in die Zelle hineinziehen, eben so gross sind als die, welche sie draussen festzuhalten suchen, dass, wie wir uns ausdrücken können, der osmotische Gegendruck**) ein Maximum erreicht hat und der osmotischen Zugkraft geradeauf Widerstand leistet. Bei diesem gedachten Gleichgewichtszustand sind nun natürlich die einzelnen Stoffe, je nachdem sie von Zellhaut und Zellinhalt mehr oder weniger angezogen werden, sehr ungleich verteilt. Sogenannte Colloïdalsubstanzen, die von der Zellmembran nicht durchgelassen werden, werden sich an dem Ort ihrer ursprünglichen Lagerung innerhalb und ausserhalb der Zelle vor und nach Herstellung des Gleichgewichts befinden. Sogenannte Krystalloïdalsubstanzen müssen bei Eintritt desselben sehr gleichmässig innerhalb und ausserhalb der Zelle sich ver-

*) Dass man diejenigen Konzentrationen verschiedener Lösungen, welche eben nicht mehr im stande sind, die Plasmolyse einer und derselben Zelle zu bewirken, als *isotonisch* miteinander vergleicht, ist einstweilen mehr von theoretisch-physikalischem Interesse. Vergl. über diesen Gegenstand H. de Vries: Zeitschr. f. phys. Chemie, II, p. 415.

**) Man hüte sich, was hier und anderswo *osmotischer Druck* genannt ist, mit dem gleichen Ausdrucke zu verwechseln, wie er von van t'Hoff gebraucht wird. Vergl. hierüber die notwendigen Erörterungen von seiten dieses Forschers und von Lothar Meyer: Zeitschr. f. physik. Chemie, 1890, p. 23 u. 174.

teilt finden. Nur der Ausgleich wird für diese eine um so längere Zeit in Anspruch nehmen, je geringer die Anziehungskräfte der zu durchsetzenden Membranen für die Substanzen sind.

Wenn nun trotzdem in einer lebenden Zelle, wie wir dies thatsächlich beobachten, kein Gleichgewicht eintritt, wenn wir fort und fort die osmotischen Erscheinungen sich abwickeln sehen, ohne dass eine Abstumpfung der sie erregenden Kräfte wahrgenommen wird, so ist dies eben nur zu erklären durch das *stetige Stattfinden eines physiologisch-chemischen Prozesses*, *der jenes Gleichgewicht immer von neuem stört* und dadurch immer wieder jene Kräfte von neuem anspannt. Mit andern Worten, die physiologischen Vorgänge in einer jeden Zelle sind stets mit Verbrauch und Neuerzeugung von chemischen Stoffen, welche in der neuen Gestalt auch andere osmotische Kräfte geltend machen, verbunden. Die in der Zelle neugebildete Verbindung wird nach aussen sich zu verbreiten suchen, die dort zerstörte Verbindung wird von aussen wieder aufgenommen werden, weil in beiden Fällen notwendig ein Ungleichgewicht eingetreten ist.

Wir können dies, bevor wir Anwendungen auf die wirklichen Verhältnisse in der Pflanze machen, durch eine Versuchsanstellung mit einem künstlichen System zu verdeutlichen suchen. Ich habe hier einen kleinen Glascylinder, nach unten mit einer Membran, einem Stückchen Schweinsblase, geschlossen*). Derselbe ist mit Wasser gefüllt, taucht aber in eine Flüssigkeit, welcher durch die Beimischung von Kupfervitriol eine bläuliche Farbe gegeben wurde. Wir wissen aus bereits angestellten Versuchen, dass der Kupfervitriol durch die Membran hindurchtreten wird und dass nach einiger Zeit drinnen wie draussen ungefähr die gleiche Menge des Salzes (erkennbar an der Färbung der Flüssigkeit) vorhanden sein wird.

Ich kann nun aber den Versuch so leiten, dass aller Vitriol nach und nach den Weg nach dem Innern des Cylinders findet und dass draussen die blaue Färbung ganz verschwindet, indem ich ein Stückchen Zink hier an einem Faden in dem Cylinderchen aufhänge. An diesem weniger edlen Metalle schlägt sich das Kupfer nieder, während es selber in Lösung geht. So wird das eben erreichte osmotische Gleichgewicht immer wieder gestört und der Diffusionsstrom dauert fort, bis endlich alles Kupfer in den Cylinder gewandert ist.

Dieser neue, soeben durch die Versuchsanstellung erläuterte Gesichtspunkt ist festzuhalten bei Betrachtung des Stoffwechsels aller ausschliesslich in wässrigen Flüssigkeiten lebenden Organismen. Eine die alkoholische Gärung erregende Hefezelle kann nur, solange sie den Zucker in sich zu andern Verbindungen verarbeitet, fort und fort diesen Zucker in sich aufnehmen und die neugebildeten Verbindungen, Kohlensäure und Alkohol, immerzu ausscheiden, weil das osmotische Gleichgewicht durch jene chemische Thätigkeit in einem fort gestört wird. Eine chlorophyllhaltige Algenzelle kann nur aus demselben Grunde immer wieder von neuem befähigt werden, die im umgebenden Wasser aufgelöste Kohlensäure in sich aufzunehmen, weil in diesem Falle die Kohlensäure wegen ihrer chemischen Umwandlung an der Geltendmachung eines osmotischen Gegendrucks gänzlich gehindert wird. Man kann sogar offenbar, ohne zu Irrtümern Veranlassung zu geben, sich einer etwas un-

*) Eine Abbildung ist zur Verdeutlichung dieses einfachen Versuchs nicht nötig.

präziseren Ausdrucksweise bedienen und sagen, dass die Orte der Konsumtion irgend einer Substanz mit Hilfe der osmotischen Erscheinungen wie Anziehungscentren, die der Produktion wie Abstossungscentren für die betreffenden Substanzen wirken.

Soweit es sich um die Aufnahme oder Ausscheidung gelöster organischer Stoffe oder des Materials, aus dem diese Stoffe hervorgehen, handelt, ist die Wirksamkeit dieser Gesetzmässigkeiten beinahe selbstverständlich. Nicht so unmittelbar scheinen die Vörgänge der Aufnahme von Aschenbestandteilen durch einen ganz von wässrigen Medien umgebenen Organismus aus jenen Gesichtspunkten erklärt werden zu können. Wenn man zunächst die Aschenzusammensetzung eines Sumpfgewächses mit der des umgebenden Sumpfes, eines Seetangs mit den Bestandteilen des Seewassers vergleicht und, indem man auf einen osmotischen Ausgleich rechnet, eine ähnliche Zusammensetzung der feuerfesten Bestandteile zu finden hofft, so wird man sich völlig betrogen finden. Ich erinnere nur an das bekannte, von Liebig*) zuerst gewählte Beispiel einer Sumpfpflanze, der Wasserlinse, deren Aschenbestandteile vergleichsweise mit denen des Sumpfwassers, in dem sie ihr Dasein fristete, analytisch bestimmt wurden. In der Asche der Wasserlinse war unter anderem das Verhältnis des darin gefundenen Kochsalzes zum Kali wie 10 : 22, im umgebenden Wasser wie 10 : 4; ebenso in der Pflanzenasche das Verhältnis der Schwefelsäure zur Phosphorsäure wie 10 : 14, im Wasser wie 10 : 3. Phosphorsäure und Kali waren von der Pflanze in weit höherem Verhältnis aufgenommen worden als Natron und Schwefelsäure. Noch viel erstaunlichere Unterschiede würden sich herausstellen, wollte man die Aschenbestandteile für eine solche ringsum von Wasser umgebenen Pflanze auf den Wassergehalt dieser letzteren berechnen und damit den Aschengehalt des Sumpfwassers vergleichen. — Weit merkwürdiger muss es noch jemandem erscheinen, der die Stoffaufnahme im guten Glauben aus dem Gesichtspunkt der osmotischen Erscheinungen zu erklären unternimmt, wenn er die qualitativen Unterschiede der Zusammensetzung des Meerwassers und der Aschen einiger in diesem gewachsener Fucus- und anderer Pflanzenarten erfährt. Der Kaligehalt des Meerwassers ist kaum $^1/_{20}$ so gross wie der Natrongehalt desselben, dennoch treffen wir in vielen dieser Pflanzen weit mehr Kali als Natron an. — Jod und Mangan sind im Meerwasser in so geringen Mengen vorhanden, dass es kaum gelingt, diese Bestandteile mit unsern schärfsten Methoden nachzuweisen. In vielen Meerespflanzen finden sie sich dagegen in verhältnismässig grossen Mengen vor**).

Nun ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch, wenn man vor der Hand nur die osmotischen Vorgänge zur Erklärung dieser Erscheinung heranzieht, eine völlig gleichmässige Verteilung solcher mineralischen Stoffe gar nicht zu erwarten steht. Spezifische Anziehungskräfte von in der Zelle enthaltenen Substanzen werden sich zweifellos geltend machen müssen, gleichzeitig die Durchdringbarkeit der Zellmembran für einzelne Stoffe, und so wird eine gewisse Anhäufung von Substanzen, mit denen

*) Vergl.: Die Chemie i. i. Anw., 1862, II, p. 55. An der Station zu Wageningen fanden wir 18 % Asche in der trockenen Masse von Lemna. Vergl. Tydschr. v. Landbouwkunde, 1881, p. 52.

**) Vergl. die achtzehnte Vorlesung, p. 292.

im Organismus gar keine Veränderung vorgenommen wird, immerhin möglich sein. — Allein derartige Anziehungskräfte können unmöglich genügen, um eine so einseitige Verteilung gewisser mineralischen Stoffe, wie sie die angeführten Analysen lehren, dauernd zu ermöglichen, und aus diesem Grunde ist man früher vielfach daran verzweifelt, die Erscheinungen der Stoffaufnahme auf osmotische Vorgänge zurückzuführen, und hatte angefangen, von einem unerklärlichen „Wahlvermögen“ der Pflanzen zu sprechen, und der Gebrauch dieses Wortes, mit dem man nur einen sehr dunkeln Begriff verband, hat seiner Zeit viele Verwirrung in die Vorstellungen über die Stoffaufnahme gebracht.

Ganz anders gestaltet sich nun aber die Sachlage, wenn wir auch für solche Mineralstoffe — immer wieder an den soeben durch uns eingeleiteten Versuch zurückdenkend — das Bestehen einer Möglichkeit, ja in sehr vielen Fällen einer Notwendigkeit bedenken, dass eine chemische Verarbeitung derselben innerhalb der Pflanzenzelle in der Weise eintritt, dass nun der eingetretene Stoff keinen osmotischen Gegendruck mehr geltend machen kann, eben weil er ein substanziell anderer geworden ist. Dann wird auch für die Aschenbestandteile das vorhin für die Elemente der organischen Substanz geltend gemachte Prinzip, dass die Orte der chemischen Umwandlung irgend einer Verbindung wie Anziehungscentren für eine solche Verbindung wirken*), Anwendung finden können. Wenn gar der chemisch veränderte mineralische Körper seine osmotischen Eigenschaften verloren hat, ein colloïdaler Körper geworden ist, so wird die Aschenanalyse, die uns keinen Aufschluss über die chemische Form des aufgefundenen Körpers giebt, eine scheinbar unbegrenzte Ansammlung eines Stoffes zeigen können, aber nur deshalb, weil die Ansammlung in Gestalt einer andern, mit abweichenden osmotischen Eigenschaften begabten Verbindung geschehen ist**).

Wir sehen z. B. die Wurzel einer Landpflanze, die sich in dieser Hinsicht in ganz ähnlichen Verhältnissen wie eine untergetauchte Wasserpflanze befindet, wenn sie mit der Pflanze aus einer Nährstofflösung, in der sie sich ausgebildet hatte, herausgenommen und in reines destilliertes Wasser gesetzt wird, eine Reihe von aufgenommenen feuerfesten Bestandteilen in dieses Wasser, wenn auch in geringen Mengen abgeben***). Die Verhältnisse des osmotischen Apparats, den die Wurzel mit der sie umgebenden Flüssigkeit gebildet hat, sind plötzlich verändert, und es

*) Eine derartige Verarbeitung der osmotisch durch die Membran gegangenen Substanzen wirkt ganz ähnlich wie ein konstanter Wasserstrom in einem Dialysator. Wenn sich in einem solchen Apparate auf der einen Seite der Membran ein Gemisch von Krystalloïd- und Colloïd-Substanzen, auf deren anderer Seite reines Wasser befindet, so würden die ersteren Substanzen zwar durchgehen, aber nicht völlig, da sich bald ein osmotischer Gegendruck fühlbar macht. Ersetze ich aber das begrenzte Quantum Wasser durch eine stets sich erneuernde Menge, durch einen Wasserstrom, so kann ich aus jenem Gemisch die Substanzen von krystalloïdalen Eigenschaften bis auf die letzten Spuren entfernen.

**) Aus diesem Gesichtspunkte hat z. B. Thoms die Ansammlung von zweibasisch phosphorsaurem Kalke im Teakholze erklärt. Vergl. Landw. Versuchsst., 23, p. 425.

***) Vergl. E. Wolff: Landw. Versuchsst., 1865, p. 211; und die dreiundzwanzigste Vorlesung.

wird für solche Stoffe, für die ein osmotisches Gleichgewicht eingetreten war, nun ein starker osmotischer Gegendruck beginnen, welcher ihr Zurücktreten in das die Wurzel umgebende destillierte Wasser veranlasst. Allein der Erfolg eines solchen Experiments lehrt, dass nur für eine Reihe von bereits aufgenommenen Mineralstoffen etwas Derartiges erfolgt, dass aber für andere und zwar gerade für die Stoffe, welche zu den wichtigsten pflanzlichen Funktionen in Beziehung stehen, ein absolutes Festhalten des einmal Aufgenommenen beobachtet wird. Das letztere scheint z. B. regelmässig für Kali, Salpetersäure, Phosphorsäure stattzufinden, während Kalkverbindungen wieder, wenn auch in chemisch veränderter Form*), zurückzukehren im stande sind.

Das Studium dieses Verhaltens wirft ein helles Licht auf die Gesetze der Stoffassimilation. Wir müssen uns denken, dass in all den Fällen, wo ein osmotischer Gegendruck sich nicht fühlbar macht, wo es möglich ist, einen Organismus in die Bedingungen, welche für eine Stoffabgabe durch Osmose am günstigsten sind, zu bringen, ohne dass eine Ausscheidung des vorher Aufgenommenen erfolgt, wo also seine osmotische Fähigkeit verloren gegangen ist, er in eine chemische Verbindung von colloïdalen Eigenschaften übergegangen, dass also mit anderen Worten der aufgenommene Stoff schon die *Beute einer chemisch physiologischen Veränderung geworden ist.*

So wird es denn auch völlig klar, warum gerade die für die Pflanze wichtigsten Stoffe von dieser mit so grosser Zähigkeit festgehalten werden. Es ist dies kein dunkles Wahlvermögen der Pflanze, keine unbegreifliche instinktive Begabung derselben, welche diese Anhäufung gewisser unentbehrlichen feuerfesten Stoffe bewirkt und die Abgabe derselben nach aussen hin erschwert; sondern es treten hier ohne allen Zweifel die geschilderten Verhältnisse bestimmt hervor, wenn uns auch in vielen Fällen eine klare Einsicht in die Einzelheiten derselben noch vorderhand abgeht. Das eigentliche Assimilieren der Pflanzen und Tiere im weitesten Sinne des Worts besteht eben darin, die Nahrungsstoffe, die überall bis zu den Peptonen herauf doch immer von mehr krystalloïder Natur sind, in Colloïdalstoffe zu verwandeln, welche durch ihr grosses Molekül vor Auswaschung auf dem Wege der Osmose geschützt sind.

Halten wir das eben Gesagte fest, so erscheint es geradezu erlaubt, eben jenen Mangel eines osmotischen Gegendrucks für irgend einen mineralischen Bestandteil nach dessen Aufnahme als ein Kriterium dafür anzusehen, dass der letztere bereits eingetreten ist in die chemisch-physiologischen Umwandlungen**) in der Pflanzenzelle

*) Hier ist namentlich an die Aufnahme von salpetersaurem Kalk zu erinnern, wofür dann kohlensaurer Kalk durch die Wurzeln abgegeben wird.

**) Merkwürdig erscheint allerdings, dass z. B. Stoffe, wie das salpetersaure Kali, die einmal von der Pflanze aufgenommen, mit grosser Beharrlichkeit festgehalten werden (wie aus den Beobachtungen, die man beim Versetzen von in Lösung gewachsenen Luftpflanzen gemacht hat, geschlossen werden darf; auch Demoussy: Compt. rend., 118, p. 79), doch noch einige ihrer chemischen Eigenschaften in der Pflanze bewahren zu können scheinen. Die Salpetersäure, die nicht wieder zum Austreten durch die Wurzeln zu bewegen ist, kann gleichwohl in solcher Menge mit insoweit umgeänderten Eigenschaften in der Pflanze

und dabei seine krystalloïdale Beschaffenheit eingebüsst hat, die ihm den osmotischen Rücktritt durch die Zellhaut verstattet haben würde*).

Es darf aber nicht aus den Augen gelassen werden, dass die Möglichkeit einer solchen Umwandlung eines Mineralstoffs in eine andere chemische Form durch einen physiologischen Prozess noch nicht die Unentbehrlichkeit oder die hohe Bedeutung eines solchen Stoffs für die Pflanze notwendig beweist. Ein solcher Schluss würde jedenfalls voreilig sein, da ja manche Lebensvorgänge, manche ganz regelmässig verlaufende chemischen Prozesse denkbar sind, die auch unterbleiben können, ohne für die Pflanze Nachteile mit sich zu bringen. So ist der Bedarf jener Seegewächse nach Jod und Mangan durchaus nicht aus ihrem Verhalten gegen jene Stoffe mit Sicherheit abzuleiten; denn wir kennen Fälle von einer ganz unnützen Anhäufung in sehr erheblichem Maassstabe und haben solche früher mitgeteilt. Dahin ist nicht bloss zu rechnen die Anhäufung von Kieselsäure in Gramineen, die ja auch auf mechanische Weise (durch den Wasserstrom) erklärt werden kann, sondern auch die scheinbare Assimilation von Eisen durch Wasserpflanzen, die als echtes Prototyp einer auffälligen und gleichwohl unnützen Ansammlung gelten kann. Man kann daher in einem solchen Falle mit Recht eine strenge Beweisführung der Unentbehrlichkeit auf einem andern Wege fordern, wenn man diese letztere auch von vornherein für sehr wahrscheinlich halten mag.

Unsere nächste Aufgabe wird nun die sein, die komplizierteren osmotischen Vorgänge und Diffusionserscheinungen bei denjenigen Gewächsen zu betrachten, welche nur *teilweise* an ein tropfbar flüssiges Medium grenzen. Hierbei werden uns die eben angestellten Betrachtungen über die osmotischen Vorgänge bei den ganz in einem tropfbar flüssigen Medium wachsenden Pflanzen wesentlich zu statten kommen.

Zweiundzwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Die bei der Stoffaufnahme der Luftpflanzen zusammenwirkenden Erscheinungen.

Bei den höheren Luftpflanzen grenzt, abgesehen vom allerersten Keimungsstadium**), regelmässig ein Teil der Pflanzenorgane an ein tropfbar flüssiges Medium,

enthalten sein, dass sie ein Verbrennen derselben unter Funkensprühen veranlasst. Trotzdem sind auch diese Vorkommnisse naheliegenden Erklärungsversuchen (Entstehen von Nitrokörpern) zugänglich.

*) Auch der umgekehrte Fall, nämlich dass osmotische Verbreitung eintritt, wo man Unbeweglichkeit eines colloïdalen Stoffes voraussetzen zu dürfen meinte, scheint in der praktischen Physiologie vorzukommen. So will man beobachtet haben, dass Albumin leichter gegen Phosphate und Kali diffundiert als gegen reines Wasser, was mit Entstehung von krystalloïden Stoffen aus Spaltungsprodukten des Eiweiss' mit Phosphaten à la Lecithin in Beziehung stehen könnte. J. B. Rogojski zu Lodz: Briefliche Mitteilung.

**) Die Stoffaufnahme in dieser Periode, die mit Recht eigenen Untersuchungen unterworfen worden ist (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs, II, p. 200 bis 230), ist ganz der der untergetauchten Wasserpflanzen analog und kommt lediglich durch dieselben zwei Momente wie jene zu stande.

sei es nun, dass sie in eine wässrige Flüssigkeit völlig hineinragen, oder mit kapillar festgehaltenem Wasser in Berührung sind. Bei diesen höheren Pflanzen sind die Organe, vermittelst deren die Berührung mit wässrigen Flüssigkeiten stattfindet, unter allen Umständen *die Wurzeln,* wenn auch nicht stets die ganze Wurzel mit Wasser oder verdünnten Lösungen, sondern im trockenen Boden nur die Wurzelhaare, welche in das kapillar festgehaltene Wasser eintauchen, in Berührung sind.

Die Wurzelteile, die in das Wasser eintauchen, stehen nun aber in kontinuierlichem Zusammenhang mit Pflanzenteilen, die in das Luftmeer sich emporstrecken. Hieraus ergiebt sich augenscheinlich eine von der jener untergetauchten Wasserpflanze sehr abweichende Situation, welche in ihrem Einfluss auf die Stoffaufnahme eine besondere Untersuchung erheischt.

Denken wir uns in einer einzelnen untergetauchten Pflanzenzelle eine organische Substanz von bedeutender Anziehungskraft zum Wasser, aber colloïdaler Beschaffenheit, so dass sie nicht im stande ist, die Zellmembran und die Protoplasmahaut zu durchdringen. Was wird die Folge sein? — Es wird Wasser in grosser Menge aufgenommen, kein anderer Stoff dafür ausgegeben werden, und so wird — ähnlich wie wir dies früher an künstlichen Apparaten beobachtet haben — ein erheblicher Druck in der Zelle entstehen, da die Zellhaut nicht ohne weiteres die in ihr enthaltene Lösung filtrieren lässt. Dieser Druck wird aber weiter keine Wirkungen ausüben können; höchstens wird die Zelle zerplatzen, wenn nämlich der Druck die Festigkeit der Zellhaut übersteigt.

Die ganze Sachlage wird nun keine bedeutende Veränderung erleiden, wenn ich mir an Stelle einer einzigen Zelle einen Komplex von untergetauchten Zellen denke, selbst wenn ich hierbei verschiedene Filtrationswiderstände der äusseren an das Wasser grenzenden Zellmembranen und der inneren, Zelle von Zelle abschliessenden, annehme. Der Druck der einzelnen mehr nach aussen oder nach innen liegenden Zellen kann dabei, je nach diesen Filtrationswiderständen, ein sehr verschiedener sein und ebenso die Zellsaftkonzentrationen; in keinem Falle wird aber der vorhandene Druck irgend etwas der Art bewirken können, wie wir es sogleich für einen Zellkomplex, der teils an ein flüssiges, teils an ein gasförmiges Medium grenzt, als notwendige Folge eines solchen Drucks bei verschiedenem Filtrationswiderstand der einzelnen Zellmembranen erkennen werden.

Wir denken uns nun eine Zelle, die ganz dieselben Verhältnisse repräsentiert wie die eben angenommenen; nur soll sie teilweise aus der wässrigen Flüssigkeit herausragen oder — was mehr der Sachlage der Luftpflanze entspricht — mit andern Zellen oder weiteren Gefässen, die aus dieser Flüssigkeit hervorragen, in kontinuierlicher Verbindung stehen. Zugleich machen wir nun die Voraussetzung, dass die Zellmembranen, durch welche die von der Flüssigkeit umgebene Zelle von den in der Luft befindlichen Gewebeteilen getrennt ist, in ihrer Gesamtheit einen geringeren Filtrationswiderstand besitzen als diejenige, mit welcher die Zelle an die Flüssigkeit grenzt. Was wird unter diesen Umständen eintreten? — Auch in diesem Falle wird sich ein Flüssigkeitsdruck innerhalb jener an die Flüssigkeit grenzenden Zellen geltend machen, da nach der Annahme der colloïdale Inhalt derselben Wasser von aussen anziehen sollte, ohne dafür fähig zu sein, umgekehrt Substanz nach aussen

abzugeben. Allein dieser Druck trifft in ganz verschiedenen Richtungen, da die Zelle von ungleichartigen Membranen umgeben ist, verschiedene Filtrationswiderstände an und wird so befähigt sein, eine Flüssigkeit von einer gewissen Konzentration in diejenigen Gewebeteile hinüberzupressen, die nicht mit Wasser in Berührung stehen, d. i. eine Flüssigkeitssäule in die Höhe zu heben über das Niveau der Flüssigkeit, in welcher die jenen Druck erzeugenden Zellen liegen.

Es kann keinen Augenblick zweifelhaft sein, welche Kräfte es sind, denen diese Arbeitsleistung zugeschrieben werden muss. Es sind im wesentlichen die Anziehungskräfte der anfangs getrennten Flüssigkeiten, welche bei der freien Mischung derselben lediglich Wärme erzeugt haben würden und die bei der Herstellung eines osmotischen Apparats mechanische Arbeit zu leisten im stande sind.

Wir brauchen nun nur noch das gehobene Wasser oben abfliessen zu lassen, und haben in jenem osmotischen Apparat eine Vorrichtung zur konstanten Hebung von Flüssigkeit. Zur konstanten Hebung? — Das kann nicht richtig sein, denn das wäre ja das leibhaftige *Perpetuum mobile;* und dieses ist nach dem Prinzip der Erhaltung der Kraft eine bare Unmöglichkeit. — Sehen wir also näher zu und beachten wir namentlich die Konzentration der gehobenen Flüssigkeit. Auf diese kommt es an; denn in dem Konzentrationsausgleich liegt die Quelle der Hubkraft.

Wir haben den Filtrationswiderstand in verschiedener Richtung verschieden sein lassen, d. h. die Annahme gemacht, dass infolge des Drucks, welcher in der an die Flüssigkeit grenzenden Zelle auf die erläuterte Weise entsteht, nach den andern Zellen hin schon eine *Durch*pressung der in jener Zelle enthaltenen colloïdalen Substanz möglich wäre, ehe dieselbe nach aussen hin in die umgebende Flüssigkeit hindurch filtrieren könnte. Diese Annahme war durchaus notwendig, denn ohne sie könnte augenscheinlich niemals Hebung einer Flüssigkeit stattfinden, da dieselbe offenbar eher in das umgebende Wasser gepresst werden würde als nach oben, wo ausser dem Filtrationswiderstand noch der hydrostatische Druck überwunden werden muss. Es ist also leicht einzusehen, dass eine Lösung*), kein reines Wasser, oder allgemeiner gesprochen eine konzentriertere Flüssigkeit als die unten osmotisch aufgenommene, unter den angenommenen Bedingungen gehoben wird — eine Flüssigkeit, in der die anziehenden Kräfte, welche die Leistung der Arbeit veranlassen, teilweise zum Ausgleich gekommen sind; dass mit andern Worten der osmotische Apparat in der Folge durch seine eigene Wirksamkeit naturnotwendig unbrauchbarer wird und schliesslich sich selbst vernichtet. — Ein Perpetuum mobile besteht also hier in der That nicht; dies war nur der Anschein bei oberflächlicher Betrachtung.

Man kann nun die Möglichkeit eines solchen Verhaltens durch einen Versuch veranschaulichen — durch einen Versuch, den wir indessen nicht anstellen werden, da er im Grunde identisch ist mit einem schon gemachten. Wir hatten in der vorletzten Vorlesung, die uns mit den gewöhnlichsten Formen der Diffusionserscheinungen bekannt machen sollte, das Entstehen eines hydrostatischen Drucks infolge des ungleichmässigen osmotischen Austausches so demonstriert, dass wir eine Salz-

*) Diese Folgerung später experimentell erhärtet durch Godlewski: Pringsh. Jahrb., B. 15, p. 600.

lösung, die Wasser mit Begierde in sich aufnimmt, selbst aber langsamer als das Wasser durch die verwendete Membran passieren konnte, in einer Röhre ihr Volum (eben infolge jenes Austausches verschieden grosser Raumteile beider Flüssigkeiten) vermehren liessen, was nur durch Steigen der Lösung in der Röhre, also unter Hebung einer Flüssigkeitssäule, geschehen konnte. Auch hier musste das Gehobene notwendig eine konzentriertere Lösung sein als die unten durch die Membran aufgenommene Flüssigkeit, welche in dem vorliegenden Falle reines Wasser war. Auch in diesem Falle zerstörte der osmotische Apparat, als Hebevorrichtung betrachtet, seine eigene weitere Wirksamkeit, indem die sich anziehenden Flüssigkeiten, in denen die arbeitenden Kräfte endgültig zu suchen sind, sich mehr und mehr vermischten. — Und wie kann es in der That anders sein?

Der ganze Unterschied des damals gezeigten Vorgangs von dem heute ins Auge gefassten ist: die Einschaltung weiterer Membranen, die aber, um die beobachtete Wirksamkeit nicht ganz und gar zu nichte zu machen, schwächere Filtrationswiderstände*) zeigen müssen, als jene direkt mit der äusseren Flüssigkeit in Berührung stehenden. Durch diesen Vergleich ist der Sinn und die Bedeutung jener sekundären Membranen, die man als die „innern“ des ganzen Apparates bezeichnen könnte, hinlänglich deutlich gemacht.

Dass es Zusammenstellungen geben muss, die z. B. aus einem cylindrischen Röhrenstück, das nach beiden Seiten hin mit *verschiedenen* Membranen verschlossen und mit irgend einer konzentrierten wässrigen Lösung gefüllt ist, und aus einer senkrecht stehenden engeren Steigeröhre, die wasserdicht an die eine Seite jenes Röhrenstücks befestigt ist**), bestehen, versteht sich nach den allgemeinen Gesetzmässigkeiten der osmotischen Erscheinungen, mit denen wir uns im wesentlichen vertraut gemacht haben, ganz von selbst. — Aber die (qualitative oder quantitative) *Verschiedenheit* der zur Begrenzung des Raums, in welchem die Flüssigkeit sich befindet, angewendeten Membranen oder der verschiedene Filtrationswiderstand in den verschiedenen Richtungen ist durchaus unerlässlich. Lediglich eine einzige Membran zu verwenden und nach oben zu jenen Raum gar nicht zu schliessen, ist im Grunde nur ein spezieller Fall der möglichen Zusammenstellungen, wenn auch der extremste.

Wir gehen nun zu den Verhältnissen über, wie sie thatsächlich in der Luftpflanze bestehen, und sehen uns um, ob dort irgend etwas Ähnliches wie das

*) Diese schwächeren Filtrationswiderstände in der einen Richtung können auch so hergestellt werden, dass man dort nur eine Membran, in der andern Richtung nach der äusseren Flüssigkeit zu aber mehrere Membranen von derselben Art anbringt — ein Spezialfall, der von Hofmeister als Ausgangspunkt seiner Erörterungen über Wurzeldruck gewählt wurde.

**) Einen ähnlichen Apparat konstruiert zu haben und daraus die Erscheinung der Wurzelkraft (mit welchem Ausdruck die Ursache analoger Vorgänge in der Pflanze auch durch uns bezeichnet werden wird) erklärt zu haben, ist Hofmeister's Verdienst. Vergl. Flora 1862, p. 145 u. ff. — Ich benutze in meinen Vorlesungen, wenn ich diese im Grunde unnötige Demonstration anstellen will, mit gutem Erfolge als äussere Membran Pergamentpapier, als innere Schweinsblase und als Flüssigkeit Kupfervitriollösung.

was wir eben als theoretisch möglich erachtet haben, in Wirklichkeit anzutreffen ist. Die grösste Wahrscheinlichkeit hierfür ist offenbar in nächster Nähe der teilweise mit der Bodenflüssigkeit in Berührung stehenden Wurzel vorhanden*). Schneiden wir den Stamm einer normal bewurzelten Pflanze, z. B. einer Sonnenblume, in der Nähe des Bodens quer ab, so sehen wir namentlich zu gewissen Jahreszeiten einen Saftstrom ausquellen oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, eine Blutung eintreten. Die gleiche Erscheinung wird ja auch alljährlich nach dem Beschneiden der Reben beobachtet und ist also in dieser rohen Form jedermann zugänglich. Der austretende Saft kann entfernt nicht ausschliesslich als der Inhalt der verletzten Zellen angesehen werden und auch nicht als lediglich den durch die Zerschneidung eines bedeutenden Druckes entlasteten Nachbarzellen entstammend; sondern man hat es mit einem kontinuierlichen Flüssigkeitsstrom zu thun. Denn wenn man mittelst einer luftdichten Verbindung einen Manometer an der Schnittfläche befestigt, so steigt das Quecksilber im äusseren Schenkel des Manometers langsam aber stetig auf eine gewisse Höhe, die von der Art, dem Vegetationsstadium der betreffenden Pflanzen, den Temperaturverhältnissen etc. abhängig ist. Der Unterschied im Quecksilberstand der beiden Manometerschenkel repräsentiert dann schliesslich den Flüssigkeitsdruck, unter welchem der Saft noch gerade auszutreten fähig war, einen Druck, der auch unter Umständen**) in der unverletzten Pflanze an derselben Stelle als bestehend gedacht werden muss, nur dass er dort einer viel höheren Säule einer verdünnteren wässrigen Flüssigkeit das Gleichgewicht hielt. Dieser Druck wird schon seit langer Zeit als Wurzeldruck, die Ursache desselben als Wurzelkraft ganz allgemein bezeichnet, da man von vornherein erkannt hatte, dass das Vorhandensein der Wurzel an der Pflanze eine durchaus unerlässliche Bedingung für das Zustandekommen der beobachteten Erscheinungen wenigstens in dieser ausgebildeten Weise sei.

Die Erfahrung an der lebenden Pflanze zeigt nun ferner, dass die Manometerstände wenigstens im allgemeinen um so geringer ausfallen, je höher man an einer Pflanze den Schnitt führt und die Schenkelröhre anbringt; und in der That erscheint uns dieser Sachverhalt als sehr natürlich, da wir selbstredend annehmen müssen, dass der in der Pflanze in weiteren Gefässen emporgepresste Saft auch dort einen Flüssigkeitsdruck geltend machen wird. Wir können danach durch zweierlei Versuche eine Vorstellung von der Intensität der Wurzelkraft erlangen, einmal, indem wir möglichst weit unten das Manometer anbringen und das endliche Maximum der Steighöhe des Quecksilbers beobachten, oder indem wir die grösste Höhe am Stamm ermitteln, wo überhaupt nach dem ausgeführten Schnitt noch ein Druck sich bemerklich macht. Beide Grössen stehen freilich nicht in einer so einfachen Beziehung zu einander, wie man früher glaubte, indem der Druck in einer Pflanze sich entfernt nicht so regelmässig fortpflanzt wie in einer wassergefüllten Röhre, vielmehr überall von

*) Auch andere, namentlich parenchymatische, Gewebeteile zeigen übrigens im kleinen der Blutung ganz analoge Erscheinungen, wenn man sie teilweise in Wasser legt, wie durch C. Kraus nachgewiesen worden ist (Botan. Centralbl., B. 21, Nr. 7, p. 9).

**) Nicht in stark belaubten und verdunstenden Pflanzen, weil in diesen das Wasser sich nicht bis zu einem erheblichen Flüssigkeitsdruck anhäufen kann.

lokalen Zuständen abhängig ist. Die grösste Höhe, bis zu der in einem Stamme durch den Wurzeldruck Flüssigkeit emporgehoben werden kann, ist nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen, auf die eine oder die andere Weise angestellt, entsprechend reichlich einer Atmosphäre Wasserdruck. Neubauer hat an der Rebe sogar bis zu 1120 mm Quecksilber Saftdruck gemessen und zwar unter Bedingungen, welche noch keineswegs einem Optimum entsprechen*).

Machen wir nun die notwendigen Anwendungen unserer vorausgeschickten Betrachtungen auf den vorliegenden an der lebenden Pflanze beobachteten Fall. Die Erfüllung der theoretisch geforderten Bedingungen macht keinerlei Schwierigkeit. Wir sind im stande nachzuweisen, dass die Wurzelzellen der einen Wurzeldruck zeigenden Gewächse regelmässig mit organischen Substanzen erfüllt sind, die mit der äussern Flüssigkeit in osmotische Wechselwirkung treten können und dabei für die betreffende Zellmembran von relativ colloïdaler Beschaffenheit sind. Diese organischen Substanzen sind in der Regel Stärkekörner, die in den betreffenden Zellen in Dextrose oder Maltose sich umwandeln und so eine grosse Anziehungskraft für Wasser äussern. Dass wirklich die die Wurzel nach aussen hin begrenzenden Membranen selbst für den Zucker der Wurzelzellen inpermeabel sind, im Gegensatze zu oberirdischen Pflanzenhäuten, ist schon von J. Boussingault bewiesen worden**). Dass die nach innen zu liegenden Membranen einen kleineren Filtrationswiderstand zeigen werden, kann leicht aus deren Zartheit und deren grösserem Wasserreichtum wahrscheinlich gemacht werden. Kurz die ganze anfangs so befremdende Erscheinung scheint auf dem eingeschlagenen Weg eine genügende Erklärung zu finden.

Indes wir dürfen die weiteren allgemeinen Gesichtspunkte, zu denen wir bei unseren theoretischen Betrachtungen angelangt sind, nicht aus dem Auge verlieren. Wir haben früher gesehen, dass ein beliebig zusammengesetzter, aber in der Art der Wurzelkraft arbeitender Apparat nicht in derselben Konstruktion kontinuierlich jene Hubkraft äussern kann, dass es nämlich eine unerlässliche Bedingung zum Zustandekommen der ganzen eigentümlichen Wirkung war, dass der nach oben durchgepresste Saft von grösserer Konzentration als das unten aufgenommene Bodenwasser ist, weil in demselben die anziehenden Kräfte, auf welche die ganze osmotische Wirkung und die ganze mechanische Arbeit der Safthebung zurückgeführt werden konnte, zu einem teilweisen Ausgleich gelangen mussten.

Wenn wir trotzdem in vielen Fällen doch nicht hohe Konzentrationen an den durch Wurzeldruck ausgepressten Säften wahrnehmen und noch dazu finden, dass der Gehalt dieser Säfte grossenteils in mineralischen Stoffen besteht, so liegt hier in einigen Fällen die Möglichkeit vor, dass die wirklich ausfliessenden Flüssigkeits-

*) Um den Maximaldruck mit Sicherheit zu messen, ist es unzweckmässig, denselben sich selber durch den ausgepressten Saft erzeugen zu lassen, weil, bis dies Resultat erlangt ist, der Effekt durch Desorganisation schon vermindert sein kann, sondern man thut gut, gleich nach der Operation die zum vermutlichen Maximaldruck notwendige Menge Flüssigkeit in den Manometer zu bringen und unter diesen Umständen durch Beobachtung von Fallen oder Steigen das Maximum festzustellen.

**) Compt. rend., 1873, Mars 24.

massen nur vorgeschobene Säfte sind, die von den konzentrierteren verdrängt worden sind, so dass im ganzen doch eine Verteilung und Verdünnung der osmotisch wirkenden Stoffe eingetreten ist, wie es die Theorie verlangt, und, wo diese Unterstellung wegen der sehr grossen Massen von ausgepressten Flüssigkeiten sich verbietet, da muss eben für einen solchen Fall jener Erklärungsversuch geradezu aufgegeben werden. Ich kann indes hinzusetzen, dass bis jetzt noch kaum genügendes Augenmerk auf diese Konzentrationsverhältnisse gerichtet worden ist, und dass man es noch nicht durchgeführt hat, direkt Berechnungen anzustellen, ob durch die Lösungswärme der in den Wurzelzellen enthaltenen löslichen Stoffe die Arbeitskraft, die zum Heben der Flüssigkeitssäulen erforderlich ist, gedeckt werden kann *).

In einzelnen Fällen haben allerdings die ausgepressten Saftmengen sehr bedeutende Konzentrationen. So ist hier vor allem an das von Humboldt beschriebene Beispiel der *Agave americana* zu erinnern, der man in Mexico vor der Streckung des Blütenstammes das Herz ausschneidet, um auf diese Weise in unglaublich grossen Mengen einen Saft zu gewinnen, den man gären lässt und dann als „Pulque" trinkt. Bei den ungeheuren Mengen von Flüssigkeit, um die es sich hier handelt (bis nahe 10 Hektoliter von einer einzigen Pflanze innerhalb 5 Monate) müsste man natürlich auf einen Erklärungsversuch auf dem von uns versuchten Wege verzichten, wenn nicht der ausgepresste Saft erhebliche Mengen von organischer Substanz enthielte. Dies ist aber im vorliegenden Falle zur Genüge bewiesen, da man aus dem Saft ein gegorenes Getränke bereitet. Für unsere einheimischen Pflanzen, die eine starke Blutung unterhalten, sind dagegen im allgemeinen geringe Konzentrationen aufgefunden worden.**)

*) Es sind hier allerdings ohne Zweifel noch einige Hindernisse zu überwinden, die hauptsächlich die Bestimmung der osmotisch wirkenden Körper und der Wärmemengen betreffen, welche durch Sättigung der betreffenden Anziehungen in der Pflanze frei werden. — Aber es ist daneben an die erstaunliche Grösse des mechanischen Arbeitsäquivalents für Wärme zu erinnern. Die gleiche Menge Wärme, die dazu notwendig wäre, einen Gewichtsteil Wasser um einen Grad der Centesimalskala zu erwärmen, würde, ohne Verlust in mechanische Arbeit verwandelt, diesen Gewichtsteil um 424 Meter oder 42 Gewichtsteile um 10 Meter zu heben im stande sein.

**) Es sind hier die einschlagenden Versuche von Ulbricht zu erwähnen, der (Versuchsst., 1864, p. 468 und 1865, p. 185) die Blutungssäfte von Kartoffel-, Tabakspflanzen und Sonnenblumen einer ausführlichen chemischen Untersuchung unterwarf. Die Konzentration der ausfliessenden Säfte war in der Regel 1—2 Promille, doch auch noch etwas darunter und zuweilen höher. Dieselbe nahm von Beginn der Blutung an stetig ab. Etwas über die Hälfte der im Blutungssafte gelösten Substanzen war mineralischer Natur. Ähnliche Verhältnisse fand auch Neubauer in ausführlichen Untersuchungen über das Thränen der Reben. Gesamtkonzentrationen von nur 0,45 %, davon 0,15 % organische Substanz. Die qualitative Analyse ergab Rohrzucker, Inosit, Arabin, weinsauren, salpetersauren und phosphorsauren Kalk. Vergl. über denselben Gegenstand auch Nessler: Weinlaube, 1871, Nr. 4. Nach einer Zusammenstellung von Sachs ist im übrigen eine Konzentration von 0,5—1 % gefunden worden. Nur Pfeffer zitiert eine Arbeit von Unger, wonach der Blutungssaft vom Weinstock bis auf das spezif. Gewicht von 1,0001 heruntergehen könne. Ich selbst habe Blutungssaft von Hollunder untersucht und darin 0,3 % feste Stoffe (spez.

Jedenfalls kann auf Grund der hinter uns liegenden Ausführungen behauptet werden — mag nun in den osmotischen Wirkungen gewisser in den Wurzeln enthaltener organischen Stoffe die ausreichende Ursache für die Wurzelkraft gefunden werden oder nicht — dass der Apparat, der jene Kraft zu stande kommen lässt, durch seine eigene Wirksamkeit nach und nach notwendig untauglicher und untauglicher für die gleiche Thätigkeit werden muss.

Für unsern Zweck, der zunächst darin besteht, die Nährstoffaufnahme der Luftpflanze in ihren Abweichungen von dem gleichen Vorgang bei den unter weit einfacheren Verhältnissen lebenden, ganz von Flüssigkeit bedeckten Gewächsen kennen zu lernen, erscheint das Bestehen der Wurzelkraft von Wichtigkeit. Aber man ging früher zu weit, in derselben ein Moment zu sehen, das die Stoffaufnahme der höheren Gewächse bedingte oder in bedeutender Weite modifizierte; denn bei vielen hat man niemals aus Wunden oberhalb der Wurzel Saft ausgepresst werden sehen, niemals ein Bluten wahrgenommen. Dahin gehören Pflanzen sehr verschiedener Organisation, u. A. die *Coniferen*, wie überhaupt die immergrünen Gewächse, aber auch eine ganze Reihe unserer gewöhnlichen Laubhölzer. Von unseren einheimischen Bäumen ist das Bluten bisher hauptsächlich am *Ahorn*, der *Buche*, der *Birke*, dem *Nussbaum* und der *Kornelkirsche* beobachtet*), dazu an vielen Sträuchern wie bei Hollunder und an krautartigen Gewächsen.

Schon hieraus ergiebt sich indessen, dass es nicht möglich ist, die bleibende und regelmässige Flüssigkeitsbewegung durch unsere hohen Gewächse auf die Wurzelkraft zurückzuführen. Einmal finden wir in einer grossen Reihe von Pflanzen keine

Gew. 1,002), davon 0,1 Asche gefunden. Die qualit. Untersuchung ergab keinen Zucker, aber Kalisalpeter, Ammoniaksalze und Spuren Phosphate. Organ. Stoffe dokumentierten sich später durch schwache Gärung. Die Konzentration des ausfliessenden Saftes blieb 3 Tage lang dieselbe. So gering diese aufgefundenen Konzentrationen sein mögen, so sind sie doch ohne Zweifel etwas höher als die der durch die Wurzeln aufgenommenen Nährstofflösung, so dass sich immerhin die im Texte besprochene Theorie des Wurzeldrucks mit diesen Thatsachen wahrscheinlich vereinigen lassen wird.

*) Vergl. Hartig: in Schumacher's Ernährung d. Pflanze, 1864, p. 536. In Bezug auf die Abhängigkeit der Intensität der Wurzelkraft und der Mengen des in einer gewissen Zeit durch die beigebrachte Wunde ausströmenden Saftes von Jahreszeit, Vegetationsperiode, von der Pflanzenart und den äusseren Umständen sei bemerkt, dass durch Temperaturerhöhung des Bodens die Wurzelkraft gesteigert wird. Diese Erfahrung steht vollkommen im Einklang mit dem gemachten Erklärungsversuch. Wir wissen, dass alle Diffusionswirkungen und also auch die osmotischen Vorgänge mit Steigerung der Temperatur zunehmen; da nun die Wurzeln, von denen die in Rede stehende Wirkung ausgeht, sich im Boden befinden, so wird die Geschwindigkeit des Ausflusses des Safts mit Erhöhung der Bodenwärme steigen. — Ebenso ist der Wurzeldruck — und dies erscheint uns ebenso selbstverständlich — von der Wassermenge im Boden abhängig. In einem trockenen Boden, dessen kapillaren Zwischenräume grossenteils mit Luft erfüllt sind, werden viele Teile des Wurzelgewebes, die einer osmotischen Wirkung wohl fähig wären, in Unthätigkeit versetzt sein und so die Gesamtwirkung beeinträchtigen. In sehr trockenen Böden kann die Wurzelkraft unter sonst günstigen Umständen geradezu gleich Null werden. —

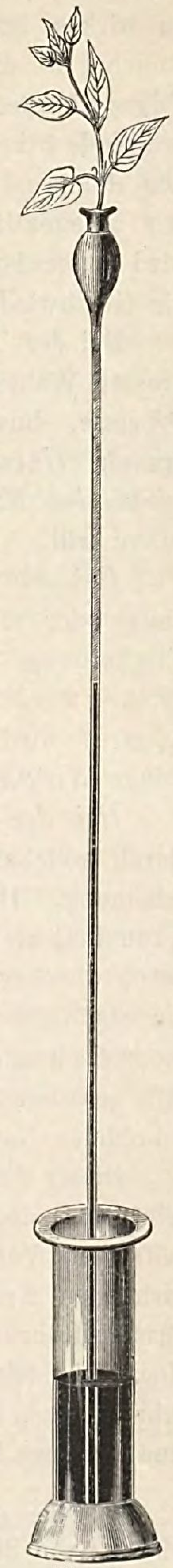
erhebliche Wurzelkraft vor; dieselbe scheint ferner, wo sie konstatiert wurde, nur eine kurze Jahreszeit auszudauern, und zwar keineswegs durch die Zeiten des grössten Wasserkonsums, und endlich reichen auch selbst die gefundenen Maximaldrucke, die noch nicht zwei Atmosphären betragen, entfernt nicht aus, um den Saftauftrieb bis in die Gipfel hoher Bäume zu erklären*).

Damit ist nun keineswegs die Bedeutungslosigkeit der Wurzelkraft nachgewiesen, sondern nur ihre Bedeutungslosigkeit für die regelmässige Wasserversorgung der Pflanze. Es besteht kein Zweifel, dass die fragliche Erscheinung von Gewicht ist für Entfaltung der Knospen im Frühjahr, die man ja an abgeschnittenen Zweigen durch künstlichen Flüssigkeitsdruck zu einer vorzeitigen Entfaltung bringen kann, wie überhaupt für die Fortpflanzung des Turgors auf benachbarte oder entferntere Gewebe. Da die Beziehungen des Turgors zum Wachstum namentlich durch einschlagende Untersuchungen von de Vries blossgelegt sind, so ist natürlich den Druckerscheinungen in der Pflanze, die fähig sind, von Gewebe zu Gewebe übertragen zu werden, eine grosse physiologische Bedeutung beizumessen. Für die Erklärung des Saftauftriebs wird es aber unsere Aufgabe sein, nach anderen Ursachen zu suchen.

Ein wirksames Moment für die Erscheinung haben wir schon in der letzten Vorlesung kennen gelernt: *die Verdunstung durch die oberirdischen Organe* oder *die Transpiration.* Das Wasser, welches die an die Atmosphäre grenzenden Zellhäute durchtränkt, hat ein Bestreben, Gasgestalt anzunehmen, dem es bis zu einem gewissen Grade Folge leistet. Es überwindet aber dabei Anziehungskräfte, die teilweise kapillarer Natur sind, teilweise durch die im Zellsaft gelösten Bestandteile ausgeübt werden. Durch den Umstand, dass das Wasser verdunstet, wird also jedenfalls das Gleichgewicht zwischen den verdunstenden Zellen und deren Nachbarzellen gestört. Jene sind verhältnismässig wasserarm geworden, und der verhältnismässig konzentrierte Zellsaft wird notwendig in osmotische Wechselwirkung treten mit dem wasserreicheren Zellsaft der nicht der Verdunstung ausgesetzten, jenen zunächst

*) In vielen Einzelfällen ist freilich die Druckgrösse der Wurzelkraft bedeutender, als der Erhebung der Pflanze entspricht. Kleinere, mehr krautartige Gewächse, wenn ihnen überhaupt eine erhebliche Wurzelkraft zukommt, werden bei bedeutender Erdwärme und Bodenfeuchtigkeit, also z. B. des Morgens, wenn zugleich wegen der niederen Lufttemperatur die Verdunstung des Wassers durch die oberirdischen Organe eine sehr geringe ist, einen sehr erheblichen Wurzeldruck geltend machen, der oft das Wasser *weit höher* zu heben bestrebt ist, als dies in der niedrigen Pflanze möglich ist, und darum bis in die obersten Organe sich fühlbar macht. Unter solchen Umständen sehen wir dann oft klare Tropfen an den Spitzen der Blätter ausgepresst werden. Z. B. an den ersten Blattspitzen der Keimpflanzen von Gramineen, aber auch an sehr vielen anderen Pflanzen, vergl. Rochleder: Chem. u. Phys. d. Pfl., 1858, p. 102 und an vielen anderen Orten. Die ausserordentlich geringe Menge des so ausgepressten Saftes lässt indessen auch manche andere Deutung dieses Vorgangs zu. — Über den Substanzgehalt solcher Tropfen vergl. Völcker: Ann. of nat. hist. soc. Ser., IV, p. 128. Eine ganz analoge Erscheinung bei ganz andersartigen Organismen ist die Tropfenausscheidung, die man häufig auf den Rasen von Schimmelpilzen bemerkt.

liegenden Zellen und wird diese eines Teils seines Wassers berauben*). Da nun aber auch die wasserärmeren Zellen unter übrigens denselben Umständen einen geringeren Druck zeigen müssen wie die wasserreicheren, so wird, wenn vorher eine ganze Zellpartie z. B. den atmosphärischen Druck besass, nach einer Periode, in der sie der Verdunstung ausgesetzt war, dieselbe einen geringeren Druck als den einer Atmosphäre zeigen müssen.


Fig. 23.

Man kann dieses Verhalten bis zu einem gewissen Grade anschaulich machen. Ich habe hier einen Zweig mit grünen Blättern von grosser Oberfläche in dem oberen Teile eines Glasrohrs luftdicht befestigt und dieses bis an den Blattstiel mit Wasser angefüllt und unten in Quecksilber eingetaucht, so dass also der auf den Gewebeteilen des Blattstiels lastende Druck schon zu Anfang kleiner als der atmosphärische ist. Ich überlasse den Apparat nun ruhig sich selbst und der Transpiration, und man wird schon nach verhältnismässig kurzer Zeit ein Steigen des Quecksilbers in der Röhre beobachten, welches mit der Zeit sehr bedeutend werden kann (siehe Fig. 23); und es ist in der Regel nur die Unvollkommenheit unseres Verschlusses sowie die bei manchen Pflanzen bestehende Kommunikation der Intercellularräume mit den Gefässen**), welche der Erscheinung ein Ende macht. In Glasröhren würde natürlich im Maximum nur die Druckdifferenz von einer Atmosphäre erreicht werden können, woraus aber kein Schluss auf die Wirklichkeit gemacht werden darf. Überhaupt werden wir noch auf die Beziehungen der so gemessenen Hubhöhe zu der Grösse der durch die Transpiration zu leistenden Arbeit in der Kontinuität der Pflanze zu sprechen kommen.

Das Resultat dieses einfach auszuführenden Versuches lehrt ganz augenscheinlich, wie die durch Verdunstung des Wassers in den an die Atmosphäre grenzenden Zellen geleistete Arbeit sich durch das ganze Gewebe fortpflanzt, wie schliesslich die das Wasser berührenden Zellen und Gefässe ihren Verlust an Feuchtigkeit aus diesem ergänzen und dabei einen erheblichen Druck zu überwinden fähig sind. Wir

*) Dass die Konzentration des Zellsaftes an gewissen Substanzen hierbei eine Rolle spielt, zeigt sich auch in den sehr verschiedenen Transpirationsgrössen jugendlicher und alter Blätter. Die letzteren verdunsten rascher, weil sie keinen sehr eiweissreichen Zellsaft mehr besitzen, sie erschlaffen aber auch leichter, weil sie weit weniger Wasser nachzusaugen vermögen. Vergl. Fleischmann: Landw. Versuchsst., 1867, p. 178.

**) Infolgedessen scheint das Resultat dieses Versuches mit dem, das früher in Fig. 21 dargestellt wurde, in Widerspruch zu stehen. Dieser Widerspruch besteht aber nur insofern, dass, wenn jenes Durchsaugen von Luft gelingt, das Wasseraufsaugen durch die Transpiration nicht zur Anschauung kommt. Diese letztere Wirkung kann darum doch in allen Fällen (auch bei Päonia) bestehen und nur die Roheit des Experiments, bei welchem der ganze Stengel durchschnitten wird, ist schuld, dass die Saugwirkung nicht demonstriert werden kann.

sehen auf diese Weise, wie die Transpiration eines frischen Blattes*) — denn diese Organe kommen hier fast ausschliesslich in Betracht — als eine wahre Saugkraft zu wirken im stande ist, und es kann nicht der geringste Zweifel darüber bestehen, ob diese Saugkraft bei dem Transport der Flüssigkeitsmasse durch den Pflanzenkörper mitwirkt. Es wird nicht bloss durch die Verdunstung das fortwährende Fliessen des Wasserstroms insofern ermöglicht, als ohne eine solche (durch den dann entstehenden Flüssigkeitsdruck in der Pflanze infolge der Wurzelkraft) nur gelegentlich unbedeutende Flüssigkeitsmengen ausgepresst werden würden; es wird ausserdem dadurch, dass die Transpiration wie eine saugende Kraft wirkt, die Geschwindigkeit des Wasserstroms wesentlich bestimmt.

Bei der Transpirationskraft sind es weiter ebenso wie bei der Wurzelkraft mit grosser Wahrscheinlichkeit (neben Imbibitionserscheinungen**)) wesentlich osmotische Prozesse, durch welche die ganze Wirkung zunächst zu stande kommt. Allein ein grosser *Unterschied* besteht bei beiden Prozessen *hinsichtlich der ursächlich wirkenden Kraft,* auf den nochmals besonders hinzuweisen ich hier nicht unterlassen will.

Bei der Wurzelkraft ist die chemische Differenz zweier diesseits und jenseits einer oder mehrerer Membranen liegenden Flüssigkeiten die Ursache der ganzen Erscheinung. Diese chemische Differenz, auf welche also die Arbeitsleistung zurückgeführt werden kann, verschwindet notwendig durch jene Arbeitsleistung; der ganze Apparat wird mit der Zeit untauglich und muss notwendig durch neue Kräfte in seiner Wirksamkeit hergestellt werden.

Bei der Transpirationskraft ist die lebendige Kraft der Wassermoleküle, durch welche diese geneigt sind, Dampfform anzunehmen, die Ursache der Erscheinung. Die osmotisch wirkenden, resp. die Imbibitions-Kräfte können hier ursprünglich als im Gleichgewicht sich befindend angesehen werden und werden erst durch die Verdunstung ausgelöst und wirksam gemacht. Und gerade deshalb, weil die osmotischen Kräfte nicht die Ursache der Erscheinung sind, bleibt der Apparat theoretisch unendliche Zeiten hindurch wirksam, vorausgesetzt, dass die in dem Zellsaft gelösten Substanzen, welche jene sekundäre osmotische Wirkung ermöglichen, colloïdaler Natur sind.

Dieser Sachverhalt lässt sich auch leicht dadurch anschaulich machen, dass man zeigt, dass der saugende Blattverdunstungsapparat sich durch eine ganze Reihe von beliebigen Vorrichtungen, wo man es augenscheinlich nur mit äusseren endgültig wirkenden Kräften zu thun hat, ersetzen lässt. Wenn man eine zweischenkelige U-förmige Röhre nimmt, sie mit Wasser füllt und an das eine Ende eine Membran oder einen sehr feinporigen massiven Körper befestigt, die direkt mit dem Wasser in Berührung stehen, so kann man ganz genau wie in dem oben beschriebenen Versuche eine Saugung bewirken, die sich durch das Fallen der Flüssigkeit im andern Schenkel

*) Über die Veränderung der Transpirationsfähigkeit von Blättern infolge der Einwirkung von SO_2 vergl. J. v. Schröder: Landw. Versuchsst., B. 15, p. 321. Für den, der sich näher für die Abhängigkeit der Transpiration von der Stoffaufnahme interessiert, sei verwiesen auf die Arbeit von Burgerstein: Akad. Bericht. zu Wien, 1873, März.

**) Über den Begriff Imbibition siehe die folgende Seite.

sehr bald zu erkennen giebt. In diesem Falle sind es die kapillaren Kräfte des porösen Körpers oder die analogen spezifischen Anziehungskräfte der Membran zum Wasser, welche zu Anfang des Versuchs gesättigt waren und durch die Verdunstungskräfte des Wassers in Freiheit gesetzt und zur Wirksamkeit veranlasst werden.

Auch aus dieser Thatsache ist zu folgern, dass die Transpirationskraft einen ungleich grösseren (weil bleibenden) Effekt auf den Wassertransport haben muss als die früher in dieser Beziehung so überschätzte Wurzelkraft. Man ist deshalb gegenwärtig in der Wissenschaft darüber einig, dass die erstere im wesentlichen die fragliche Erscheinung zu stande bringt, und nur über die Fortleitung der saugenden Wirkung von den verdunstenden Blättern bis in die mit tropfbarem Wasser in Berührung stehenden Wurzeln bestehen noch Meinungsdifferenzen und Unklarheiten. Wie sehr die Transpirationskräfte für den in Rede stehenden Prozess die Initiative besitzen, dies geht vielleicht aus nichts deutlicher hervor wie aus der schon von H. Davy angeführten und geistvoll interpretierten Thatsache, dass Zweige der immergrünen Eiche, auf die gewöhnliche gepfropft, im Winter belaubt bleiben und natürlich Verdunstung und kontinuierlichen Saftstrom unterhalten.

Obwohl es für unseren Zweck keinen Sinn hat, die weiteren Details der Saftsteigungstheorie in ihrem unfertigen Zustande des näheren zu besprechen, so ist es doch lehrreich, eine kurze historische Übersicht über die sich abwechselnden Meinungen zu geben, weil man dabei nachweisen kann, dass dieselben sich jeweils nach dem Stande der Hilfswissenschaften gerichtet haben — ein Zustand, der wie kein anderer beweist, wie rätselhaft der Gegenstand zu jeder Zeit gefunden wurde.

Zuerst fiel natürlich ins Gesicht, dass alle hochgewachsenen Pflanzen in ihren Stamm- und Stengelteilen teilweise aus einem Gewebe gebildet sind, dessen kapillare Räume (durch Resorption der Querwände der ursprünglichen Zellen) miteinander in fortlaufender Reihe kommunizieren und so zur kapillaren Saftleitung ausserordentlich geeignet erscheinen. So dachte man sich die Wasseraufsaugung wie in einem Dochte vor sich gehend, ohne damals zu wissen, dass die Hohlräume nicht immer (z. B. nicht bei den Koniferen) kommunizieren. Dies ist die alte Hales'sche Saftsteigungstheorie.

Nach der Entdeckung der Diffusionserscheinungen dachte man sich den Nachschub von Wasser auf osmotischem Wege von Zelle zu Zelle vor sich gehend, ohne zu bedenken, dass hierbei der grossen Geschwindigkeit des Wasserstroms, die als viele Meter in der Stunde betragend festgestellt werden konnte, keine Rechnung getragen wird. Dagegen ist es in der That sehr ins Auge fallend, dass die Stätten der Produktion von organischer Substanz zugleich die Verdunstungsorgane sind; und hören sie auf zu produzieren, so neigen sie auch zur Erschlaffung. Sah es nicht aus, als ob die neuerzeugten organischen Stoffe durch ihre Anziehung zum Wasser eine Hauptrolle spielten?

Sodann fiel auf, dass der Substanz beinahe aller pflanzlichen Zellhäute jene feinere Kapillarität (hervorgebracht durch unsichtbare Poren), die man auch Imbibitionsfähigkeit genannt hat, zukommt, welche entsprechend der grösseren Feinheit der wirkenden Räume zu den ausserordentlichsten Kraftleistungen geeignet

ist*). Die Schwierigkeit von dieser bis in die neueste Zeit im Ansehen stehenden Auffassung ist nur, dass die Zellwände, denen Imbibition zugeschrieben wird, in der lebenden Pflanze, also im Augenblicke, wo sie die Funktion ausüben sollen, sehr feucht sind, so dass man ihre Anziehungskraft gegenüber Wasser für nahezu, ja häufig für ganz gesättigt halten muss**).

Kaum hatte man dann später die schnelle Oberflächenbenetzung reiner Körper durch adhärierende Wassertropfen***) kennen gelernt, als man auch dieses physikalische Phänomen im Sinne der Saftsteigung zu exploitieren unternahm. Hierbei hatte man allerdings der grossen, experimentell erwiesenen Schnelligkeit der Saftsteigung Rechnung getragen, aber desto weniger geachtet auf die anatomische Struktur der Pflanze, welche Struktur keineswegs in Übereinstimmung steht mit einer praktischen Verwendbarkeit der zu Grunde gelegten Erscheinung.

Andererseits wurde der Saftaufstieg erklärt aus dem bedeutenden negativen Drucke, der im Innern langer Stämme gerade zu Zeiten des grössten Wassertransports mit grosser Regelmässigkeit wahrzunehmen ist und der seinerseits in letzter Linie erzeugt wird durch die vorhin besprochene Saugung infolge des Transpirationsprozesses und lange Zeit unverändert erhalten bleibt durch die sehr

*) Die Versuche von Jamin (Compt. rend., T. 50, p. 172, 311 u. 385) zeigen, dass wir es hierbei mit *Kräften von ungewöhnlicher Energie* zu thun haben. Diese Energie wird um so mehr gesteigert, je grösser die Annäherung der Körper zu einander ist, die als der Sitz dieser Kräfte bezeichnet werden müssen. Die Imbibitionskräfte der Membranen sind daher von grösserer Stärke als die gröberen Kapillarkräfte der mikroskopisch sichtbaren Röhren. Ein feinporiger Körper, dessen Poren alle in der Weise miteinander in offener Verbindung stehen, dass eine jede nach aussen hin einen Zugang besitzt, saugt sich, mit einer Flüssigkeit in Berührung gebracht, die überhaupt Adhäsion zu seinen Teilchen besitzt, rasch voll. Die Luft, die vorher in den Poren des festen Körpers sich befand, wird dabei mit grösserer oder geringerer Gewalt ausgetrieben und kann schon bei einem grobporigen Körper den Druck von mehreren Atmosphären überwinden, wenn man z. B. den porösen Körper an die Öffnung eines verhältnismässig kleinen sonst verschlossenen Gefässes kittet und dann die Flüssigkeit einsaugen lässt. Die Höhe dieses Drucks giebt einen Begriff von der Energie, mit der man es in jedem einzelnen Falle zu thun hat.

**) Im völligen Widerspruch mit der Imbibitionshypothese steht die Thatsache, dass im Winter von Aststumpfen vieler Pflanzen, deren Holz mit Wasser gesättigt ist und von diesem jedenfalls oft eine grössere Menge enthält, als das Volumen sämtlicher Zellwände beträgt, bei einer Temperatur über 0° C. Wasser aufgesaugt wird. — Ferner ist nach der Imbibitionstheorie nicht recht zu verstehen, warum selbst die grösseren Hohlräume im Winter und nach künstlicher Entlaubung sich teilweise mit Wasser vollfüllen. Dagegen wird dieser Sachverhalt aus der Saugung infolge der Transpiration verständlich. Infolge des negativen Druckes, welcher im Innern der Pflanze eben durch die stattfindende Transspiration entsteht, wird auch die Spannung der Luft in den Gefässen eine negative. Wird nun die Transpiration durch irgend einen gleichgültigen äusseren Umstand unterbrochen, so saugen die Gefässe sich teilweise auf Kosten der Zellen voll, während diese letzteren ihren Minderdruck durch sich fortsetzende Wassersaugung ausgleichen. — Im Widerspruche mit der Imbibitionstheorie stehen weiter folgende Thatsachen: Dürrwerden von Zweigen an sonst gesunden Bäumen, das Einsaugen von Wasser durch die sehr feuchten Schnittflächen frisch erzeugter Aststumpfe (besonders Pomaceen).

***) Durch die einschlagenden Studien von Quincke.

vollkommene Isolierung des Leitungsgewebes von der Aussenluft durch das Korkgewebe der Rinde, ein Zustand, der auch nach dem Eintritt von Verletzungen sich durch allerlei, namentlich von Strassburger*) studierten, hier aber nicht näher zu erörternden anatomischen Einrichtungen wiederherzustellen pflegt.

Eine vollständige Klarheit ist trotzdem bis zur Stunde in der anscheinend so einfachen Frage nicht erreicht worden, und so gross war eine Zeit lang selbst die Verzweiflung, auf rein physikalischem Wege zu einer befriedigenden Lösung zu kommen, dass man den immer hilfebereiten deus ex machina, *die Eigenschaften lebender Zellen,* in Anspruch zu nehmen nicht umhin zu können meinte.

Aber so viel Unklarheit noch geblieben sein mag, so viel ist doch jetzt über allen Zweifel erhaben, dass die Erscheinung des Saftsteigens, ob man nun der Kapillarität, die durch die Anwesenheit von geschlossenen Tüpfeln**) auf dem Leitungswege nicht unmöglich gemacht, sondern durch deren Imbibitionsfähigkeit unterstützt wird, ob man dem negativen Luftdrucke, der wegen der Unterbrechung der kapillaren Räume durch Gefässwände keineswegs nach der Länge der in den Hohlräumen aufgehängten Wassersäulen geschätzt zu werden braucht, ob man nach anderen physikalischen Momenten eine Mitwirkung gestatten will, mit den eigentlichen Diffusionserscheinungen nichts gemein hat als die Einleitung durch die Transpiration***). So

*) Vergl. namentlich dessen: Über den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen, Jena 1891.

**) Dieselben sind übrigens häufig offen, wo man sie geschlossen glaubt. Die Nichtdurchlässigkeit der Zellen für aufgeschlämmte Farbstoffe ist kein Beweis für das Geschlossensein, da dieselben auch durch Kapillaranziehungen, ähnlich wie Bakterien in der Baumwolle, zurückgehalten werden können.

***) Als Hauptbeweismittel gegen die ältere Auffassung, wonach die Saftsteigung zu stande kommt unter wesentlicher Mitwirkung des Wurzeldrucks oder anderer osmotischen Erscheinungen, sehe ich an:

1) Flüssigkeitstransport findet auch noch statt, wenn ein Teil des leitenden Gewebes durch Kochen, Knicken, Pressen oder Insektenfrass seiner lebenden Zellen beraubt ist und damit eine Lücke in den Zusammenhang der osmotischen Bewegung gerissen ist (Versuch v. Böhm mit der Feuerbohne, Naturforscherversammlung, Heidelberg 1889; Strassburger: A. a. O., p. 603 u. f., p. 645 u. f.).

2) Derselbe ist auch noch möglich, wenn die Wurzeln gekocht sind (Böhm: Verh. d. k. k. zool. botan. Gesellsch., Wien 1890, p. 149), bei Pflanzen, die in giftige Lösungen eintauchen und durch dieselbe getötet sind. (De Saussure: siehe die folgende Vorlesung, und später Boucherie, auch Strassburger: A. a. O., p. 607.)

3) Wenn die Wasseraufnahme (auch nur zunächst durch die Wurzelorgane) endosmotisch erfolgte, könnte die Transpiration keinen Einfluss haben auf die Qualität und Menge der in dem Bodenwasser gelösten Bestandteile. Die Erfahrung lehrt aber das Gegenteil. Wir brauchen hierfür nur den einzigen, aber entscheidenden Versuch von Schlösing mit der Versuchspflanze Tabak (Compt. rend., T. 69, p. 353, u. Landw. Centralbl., 1870, p. 143) zu citieren, welcher lehrt, dass die stark transpirierende mehr und qualitativ andere Aschenbestandteile in sich ansammelt als eine im übrigen gleichwertige, aber an starker Transpiration gehinderte Vergleichspflanze, eine Thatsache, welche zum Überflusse durch zahlreiche Erfahrungen über Auswitterung gleichgültiger, im Überflusse dargebotener Mineralsalze aus den Blättern gestützt wird. (Landw. Versuchsst. IX, p. 477.)

hat sich auch als Saftsteigungsgewebe durch alle einschlagenden Versuche widerspruchsfrei ergeben das jüngere Holz, das auch schon nicht mehr ausschliesslich besteht aus Zellen mit lebendem Protoplasma, und nicht oder nicht stark verdunstende Pflanzen, wie die unter Wasser lebenden, sind demzufolge auch ausnahmslos arm an eigentlichem Holzgewebe.

Ausserdem dient das Holzgewebe als Feuchtigkeitsreservoir. Es ist klar, dass ein Gewächs, welches ausgedehnte Gewebemassen besitzt, die vorzüglich dazu dienen können, grosse Wassermassen aufzuspeichern, weit unabhängiger von vorübergehenden nassen und namentlich trocknen Perioden sein wird als ein solches, das im günstigsten Fall nur einen kleinen Wasservorrat besitzt, dessen es zudem zum Leben fast ganz und gar notwendig bedarf.

Aus dem angegebenen Grunde sehen wir unsere grösseren Bäume mit ihren ausgedehnten Holzmassen, welche grosse Mengen von Wasser in sich aufzunehmen vermögen, aber ohne jeden Schaden auch wieder abzugeben sich bereit finden lassen, die trockene Jahreszeit mit voller Frische und Turgescenz der laubartigen Organe überdauern, während die krautartigen Gewächse unter den gleichen ungünstigen Umständen bald die Blätter sinken lassen und vollständig welk und schlaff erscheinen.

Wesentlich durch die Verdunstung haben wir uns also das Zustandekommen des grossen Saftstroms durch die Luftpflanze zu denken, während bei der Wasserpflanze

4) Es ist ausgemacht, dass der Wurzeldruck nur in bestimmten Pflanzenarten und in diesen bestimmten Pflanzenarten nur zu bestimmten Zeiten und unter bestimmten Bedingungen stattfindet oder wenigstens einigermaassen erhebliche Werte annimmt, während die Saftströmung, ausgelöst durch die Transpiration, eine in allen diesen Richtungen allgemeine Erscheinung ist. Auch ist in sehr vielen, zumal krautartigen Gewächsen ein Wurzeldruck praktisch in der Regel gar nicht anwesend, sondern nur künstlich durch Entlaubung oder anderseitige Verhinderung der Transpiration hervorgerufen, wodurch sein wirkliches Vorkommen noch viel mehr eingeschränkt wird, als man gewöhnlich glaubt. Es ist nun aber ganz und gar ungereimt, eine lokale und temporäre Ursache namhaft zu machen für eine in allen Luftpflanzen und zu allen Zeiten auftretende Erscheinung.

Bei diesem Verhältnisse ist gravierend, dass gerade in den Zeiten des stärksten Saftstroms, nämlich zur Zeit der stärksten Verdunstung, wo also derselbe am meisten eine Verstärkung von seiten des Wurzeldrucks von nöten hätte, dieser aufzuhören pflegt, also seine physiologische Bedeutung unmöglich für diese Zeit zu suchen ist.

Die grösste Schwierigkeit, die eine rationelle Saftsteigungstheorie noch zu überwinden haben wird, ist offenbar der Umstand, dass beim kapillaren Aufsaugen das leitende Gewebe bis in die Wurzelzellen hinab als eine Masse aufgefasst werden muss von grossem Filtrationsvermögen, während dieselben Wurzeln in Betracht des Wurzeldrucks als mit echten Membranen umkleidet funktionieren. Eine Lösung dieser bisher noch ganz übersehenen Schwierigkeit erachte ich nur für möglich durch weitere anatomische Unterscheidung von mehr parenchymatischem Diffusionsgewebe und von dem eigentlichen Leitungsgewebe, die im Sinne der Strassburger'schen Darlegung einander gegenüber gut isoliert sind. Diese verschiedenen Gewebeformen mit ganz selbständigen Druckverhältnissen werden bei experimentellen Eingriffen in roher Weise zerrissen und die Druckerscheinungen miteinander vermischt. Wir handeln bei derartigen Operationen nicht viel besser, als wenn wir ein menschliches Bein durchschnitten und an einem auf dem ganzen Querschnitt aufgesetzten Manometer den Blutdruck su messen unternähmen.

die ganze Aufnahme von tropfbaren Flüssigkeiten durch osmotische Vorgänge erklärt werden muss. Ein Wasserstrom durchfliesst stetig von unten nach oben die Luftpflanze, und hierin ist, ganz abgesehen von spezifischen osmotischen Kräften, ein Moment gegeben *zur Anhäufung von sämtlichen im aufgenommenen Wasser gelösten Stoffen im Pflanzenleibe.*

Mit den sich weiter ergebenden Gesetzen der Aufnahme dieser gelösten Stoffe durch die Wurzeln werden wir uns in der nächsten Vorlesung zu beschäftigen haben.

Dreiundzwanzigste Vorlesung.

Die Stoffaufnahme der Pflanze. — Die Stoffaufnahme durch die Wurzel der Luftpflanze.

Es ist unsere heutige Aufgabe, von der Stoffaufnahme der Pflanze durch die Wurzel zu reden — ein praktisch wichtiger Gegenstand; denn durch die Gesetze dieser Aufnahme werden die praktischen Düngungsmaassregeln vielfach beeinflusst. Um die Gesetze zu ermitteln, welche diese Stoffaufnahme beherrschen, können wir zunächst wieder unsere Herleitungen aus den Diffusionserscheinungen machen, um sodann zu sehen, inwiefern die experimentelle Forschung die gemachten Schlüsse gut heisst.

Bei dem Versuche dieser Herleitung stossen wir freilich gleich auf eine Schwierigkeit. Dieselbe liegt in dem Fehlen einer in jeder Richtung befriedigenden Saftsteigungstheorie, welche manchmal (wenigstens zunächst in der Wurzel) lediglich auf den Gesetzen der Diffusion fussend gedacht wird oder mehr ein mechanisches Aufsaugen durch Imbibition oder durch die gröbere Kapillarität der Gefässräume oder endlich durch die Spannungsverhältnisse der Zellhäute voraussetzt.

Zwei Fälle sind also möglich. Entweder verhält sich die Wurzel einer Luftpflanze ganz wie eine Wasserpflanze. Nur die schon früher besprochenen osmotischen Gesetze sind maassgebend für die Verhältnisse, in welchen Wasser und die darin gelösten Stoffe aufgenommen werden. Der aufwärts steigende Strom wirkt nicht als solcher die Aufnahme begünstigend. — Oder die Zugkräfte, deren Wirkung sich als Saftsteigung darstellt, haben einen Einfluss auf die Stoffaufnahme.

Wenn so ungefähr die Fragestellung noch vor verhältnismässig kurzer Zeit lag, so kann doch nach dem zu Ausgang der vorigen Vorlesung Gesagten jetzt nicht mehr zweifelhaft sein, dass, so unklar wir noch sind über alle Details der Vorgänge, die Beantwortung im Sinne der zweiten Frage gegeben werden muss. Wir werden nun zu sehen haben, was die direkte Erfahrung zu dieser Schlussfolgerung sagt.

Freilich ist es nicht zu verkennen, dass das gerade in dieser Richtung zur Verfügung stehende Material ein sehr ungenügendes ist. Schlösing hat einmal mehrere Tabakpflanzen bei unbehinderter und gehemmter Verdunstung kultiviert*) und die

*) Compt. rend., T. 69, p. 353, und Landw. Centralbl., 1870, I, p. 143. — Damit scheinen freilich die Resultate von Fittbogen (Landw. Jahrb., II, p. 353) in Widerspruch zu stehen. Der Schlösing'sche Versuch würde exakter sein, wenn im Boden die gleichen Konzentra-

Aufnahme der entbehrlichen Aschenbestandteile (Chlor und Silicium) im letzteren Falle stark beeinträchtigt gefunden. Dies spricht offenbar für eine Beeinflussung der Stoffaufnahme durch die Grösse des Wasserstroms. — Ferner deutet die wechselnde Aschenzusammensetzung der Pflanze unter wechselnden äusseren Umständen, obgleich weniger exakt, etwas Ähnliches an.

Wir haben mithin für die Stoffaufnahme durch die Wurzel nicht lediglich die osmotischen Erscheinungen in Anspruch zu nehmen, sondern daneben eine mehr mechanische Wirkung.

Wir besitzen ausserdem mehrere gediegene Arbeiten über Stoffaufnahme der Landpflanzen, durch welche freilich nicht die Mitwirkung einseitiger Druckverhältnisse und vor allem der Transpiration, wohl aber die Konzentration und Zusammensetzung der Nährflüssigkeit in ihrem Einfluss auf den Übergang der Stoffe in die Pflanze erörtert worden sind.

Es ist zuerst wieder der berühmte und vielgenannte de Saussure*) gewesen, der jene Aufnahmegesetze experimentell an einzelnen Luftpflanzen zu studieren begann. Die Resultate seiner Experimente sind zwar vielfach fehlerhaft, namentlich weil die Wasserkultur, die zur Anstellung dahin gerichteter Versuche absolut unerlässlich ercheint, zu seiner Zeit noch nicht genügend ausgebildet war, und die von ihm aufgestellten Gesetzmässigkeiten sind einseitig und nur unter gewissen Voraussetzungen richtig. Dennoch müssen wir auf diese Untersuchungen etwas näher eingehen, da die spätern über denselben Gegenstand sich an jene anknüpfen.

De Saussure verwendete zu seinen Versuchen Lösungen sehr verschiedener Mineralsalze und organischer Stoffe, jeweils in einer Konzentration von etwa 1 Prozent, also konzentriertere Lösungen, als der Pflanzenwurzel bei der Wasserkultur zweckmässigerweise gereicht werden, und, wie wir hinzusetzen können, konzentriertere, als in der Ackererde unter natürlichen Verhältnissen jemals angenommen werden dürfen. Nur bei dem Dammerdeextrakt betrug die Konzentration ungefähr den vierten Teil.

Die angewandten Stoffe waren:

1) Chlorkalium,	6) essigsaurer Kalk,
2) Chlornatrium,	7) schwefelsaures Kupferoxyd,
3) salpetersaurer Kalk,	8) Rohrzucker,
4) schwefelsaures Natron,	9) arabisches Gummi,
5) Chlorammonium,	10) Dammerde-(Humus-)Extrakt,

also eine bunte Musterkarte von Substanzen, die teilweise, wie wir heute wissen, pflanzliche Nährstoffe sind, teilweise für die Pflanze gleichgültige, teilweise für sie giftige Stoffe sind.

tionsverhältnisse beobachtet worden wären, da durch eine stärkere Verdunstung die Konzentration der Bodenflüssigkeit vergrössert und so ein indirekter Einfluss in der gleichen Richtung bewirkt werden kann. Dies ist durch Sorauer geleistet, der in Nährstofflösungen gearbeitet hat und in stark verdunstenden Pflanzen die Aufnahme von Mineralstoffen wesentlich vermehrt fand (Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphys., III, p. 426 u. f.).

*) Recherches chimiques sur la végét., 1804, p. 247.

In die Lösungen dieser Substanzen wurden junge Pflanzen gesetzt, welche mit den Wurzeln aus der Erde, in der sie gewachsen waren, genommen, anfangs in destilliertes Wasser, bis dort die Wurzelspitzen sich zu verlängern begonnen, und schliesslich in die betreffenden Lösungen gebracht worden waren. Als Versuchspflanzen dienten Polygonum Persicaria und Bidens cannabina. Dieselben blieben so lange in den Lösungen, bis das Volum dieser sich auf die Hälfte vermindert hatte. Aus der Analyse der rückständigen Flüssigkeit, welche bei gleichmässiger Aufnahme des gelösten Stoffes und des Lösungswassers ja genau die Hälfte der ursprünglich verabreichten Stoffe hätte anzeigen müssen, konnte indessen berechnet werden, dass statt 50 % z. B. folgende Mengen der einzelnen Stoffe aufgenommen worden waren:

	bei Polygonum Persicaria.	bei Bidens cannabina
von Chlorkalium	nur 14,7 %	16,0 %
„ Chlornatrium	„ 13,0 „	15,0 „
„ Chlorammonium	„ 12,0 „	17,0 „
„ schwefelsaurem Natron	„ 14,4 „	10,0 „
„ salpetersaurem Kalk	„ 4,0 „	8,0 „
„ essigsaurem Kalk	„ 8,0 „	8,0 „
„ schwefelsaurem Kupferoxyd	„ 47,0 „	48,0 „
„ Rohrzucker	„ 29,0 „	32,0 „
„ arabischem Gummi	„ 9,0 „	8,0 „
„ Dammerdeextrakt	„ 5,0 „	6,0 „

so dass also die in die Pflanzen übergegangenen Lösungen, mit Ausnahme der Kupfervitriollösung, weit verdünnter waren als die ursprünglich verabreichten. Der Dammerdeextrakt ging nur in einem sehr schwachen Verhältnis in die Pflanze über; dazu können wir uns das Verschwinden dieses Restes auch auf andere Weise deuten.

De Saussure, der ausserdem noch eine Reihe von Versuchen mit mehreren gelösten Stoffen in einer und derselben Lösung ausführte, glaubte sich auf Grund seiner experimentellen Forschungen zu folgenden Aussprüchen berechtigt:

1) „Die Wurzeln der Pflanzen absorbieren die Salze und Extrakte; aber sie thun dies in geringerem Maasse, als sie das Wasser aufnehmen, welches diese Salze und Extrakte aufgelöst enthält."

2) „Das Durchschneiden der Wurzeln, ihre Zersetzung und im allgemeinen die Mattigkeit der Vegetation begünstigen das Eindringen der Salze und Extrakte in die Pflanzen."

3) „Ein Gewächs saugt nicht in gleichem Verhältnisse alle in der nämlichen Auflösung zugleich enthaltenen Substanzen ein; es absorbiert im allgemeinen diejenigen Substanzen in grösserer Menge, deren Auflösungen einzeln betrachtet weniger klebrig sind." *)

Der erste dieser drei Sätze ist unter dem Namen des Saussure'schen Gesetzes bekannt, und wir werden auf denselben bei Besprechung der späteren Versuche wieder zurückkommen.

*) A. a. O., p. 270.

Die Versuchsresultate des grossen Genfer Physiologen, welche wegen der unvollkommenen Methode, nach der sie erlangt sind, nichts weniger als zu detaillierteren Schlussfolgerungen geeignet erscheinen, vermögen immerhin schon mit vollkommener Deutlichkeit zu zeigen, dass die Luftpflanzen Lösungen, welche ihren Wurzeln dargeboten werden, nicht als solche aufsaugen, sondern unter gewissen Umständen das Wasser in einem ganz anderen Verhältnis aufnehmen als die in ihm gelösten Stoffe, und dass wiederum die gelösten Stoffe je nach ihrer spezifischen Natur und der der Pflanze in ganz verschiedenen Verhältnissen aufgenommen werden, dass m. a. W. ein Moment bei der Stoffaufnahme existiert, das man früher mit einem dunklen Worte als „Wahlvermögen“ bezeichnete und welches wir heute aus den Gesetzen der Diffusion und der chemischen Verarbeitung erklären müssen.

Wir dürfen uns die Stoffaufnahme weder ausschliesslich als infolge des Wasserstroms, der durch die Luftpflanze kontinuierlich hindurchgeht, stattfindend denken, obschon wir diesem Momente eine grosse Bedeutung nicht absprechen können; noch haben wir es ausschliesslich mit den anderen Faktoren der Stoffaufnahme zu thun, mit den osmotischen Kräften und mit der chemischen Verarbeitung des Aufgenommenen. Wäre das erstere der Fall, so würden alle Stoffe, wie der Kupfervitriol, der offenbar die Pflanze getötet und alle osmotischen physiologischen Wirkungen unmöglich gemacht hat, in derselben Konzentration wie dargeboten aufgenommen worden sein. Wäre andererseits der osmotische Prozess allein maassgebend, und selbstverständlich unter Mitwirkung von chemischer Verarbeitung des osmotisch erworbenen — denn würde keiner der aufgenommenen Stoffe in dem pflanzlichen Gewebe durch physiologische Veränderungen seine Eigenschaften, die ihn zu Diffusionsvorgängen befähigen, verlieren, so müsste sich in den Wurzelzellen sehr bald ein osmotischer Gegendruck fühlbar machen —, so würden auf die Dauer nur Stoffe aufgenommen werden können, die in der Pflanze verwendet werden, wogegen gleichfalls das Versuchsresultat streitet. Die Wirksamkeit jener verschiedenen Faktoren macht sich also schon deutlich in den von de Saussure ermittelten Verhältnissen geltend.

Die von diesem Forscher aufgeworfenen Fragen haben dann aus leicht fasslichen Gründen mehrere Jahrzehnte hindurch keine erneute Bearbeitung gefunden. Es handelte sich selbstredend erst darum, einen Begriff von den Nährstoffen der Pflanze zu bekommen, ehe man Interesse daran finden konnte, nach den Gesetzen der Aufnahme von Stoffen durch die Pflanze zu fragen. Es genügt hier auf die Arbeiten von Knop und W. Wolf Rücksicht zu nehmen, die am ausführlichsten über diesen Gegenstand gearbeitet haben.

Bei den Versuchen der genannten beiden Experimentatoren wurden die Fehler, welche früher begangen worden waren und die wesentlich darin bestanden, dass mit Pflanzen gearbeitet worden war, welche aus der Erde genommen und also durch mannigfache Zerreissungen der Wurzelhaare verletzt und zu Aufnahmeversuchen untauglich geworden waren, völlig vermieden und die Versuchspflanzen vom Keimungsstadium an in *wässrigen Medien* kultiviert.

Schon einige vor diesen Versuchen gelegentlich durch Knop erlangten Resultate*) machten es wahrscheinlich, dass das sogenannte Saussure'sche Gesetz

*) Landw. Versuchsst., 1859, p. 181 und besonders 193.

der Stoffaufnahme durch die Wurzel nicht immer zutreffend sei, d. h. dass auch unter bestimmten Verhältnissen mehr Salze aus der Lösung in die Pflanze übergehen könnten, als dem aufgenommenen Wasser entsprach, und so eine verdünntere Lösung als die ursprünglich verabreichte übrigbleiben konnte. Die sehr ausgedehnten W. Wolf'schen Versuche*) haben diesen Satz zur vollen Gewissheit erhoben und gezeigt, dass das Saussure'sche Gesetz *nur der Ausdruck eines speziellen Falles*, in jener allgemeinen Form aber *unrichtig* ist. Dass vollends dieses Gesetz für die Stoffaufnahme der untergetauchten Wasserpflanzen unrichtig sein musste, ergiebt sich aus Vergleichen der Analyse dieser Pflanzen mit der des umgebenden Wassers sofort.

Die Wolf'schen Versuche sind mit Bohnen- (Phaseolus-) und Mais-Pflanzen und mit Lösungen von einem und von mehreren Salzen, die alle als mineralische Pflanzennährstoffe betrachtet werden konnten, ausgeführt worden.

Die allgemeinsten und wichtigsten Resultate dieser Versuche sind folgende:

1) Ganz abgesehen von der Eigenart der Pflanze und des in der Lösung gebotenen Salzes wird relativ *um so mehr Salz* aus der Lösung aufgenommen, *je verdünnter dieselbe ist.*

 Geht man unter eine gewisse, für verschiedene Salze sehr verschiedene Konzentration herab, so findet die Aufnahme der gelösten Stoffe *umgekehrt wie nach dem* Saussure'schen *Gesetze statt,* d. h. es wird von denselben verhältnismässig mehr aufgenommen als vom Lösungswasser, so dass eine verdünntere Lösung als die ursprünglich verabreichte zurückbleibt. Dies kann sogar so weit gehen, dass eine Lösung mit der Hälfte des Wasservolums schon die ganze Menge des gelösten Stoffes an die Pflanze abgiebt, so dass also das noch restierende halbe Volum der Flüssigkeit absolut an dem betreffenden Bestandteil erschöpft ist.

2) Verabreicht man der Pflanze gleichzeitig verschiedene Salze in einer und derselben Lösung, so übt häufig *die Anwesenheit des einen Salzes einen lebhaften Einfluss auf die Aufnahme des andern aus.* Dieser Einfluss ist in der Regel ein die Aufnahme *beschleunigender*, manchmal aber auch ein dieselbe *verzögernder.*

3) Entfernt man eine Pflanze aus der Lösung und bringt sie mit den Wurzeln in destilliertes Wasser, so werden die einmal aufgenommenen Stoffe vielfach *mit grosser Zähigkeit festgehalten* und nicht an das Wasser abgegeben.

Diese Resultate sind ebenso wie die der Saussure'schen Versuche nach den früher angestellten Betrachtungen ziemlich leicht verständlich. Wenn die Lösung, welche die Wurzeln umspült, nicht ausschliesslich infolge des Wasserstroms, der durch die Pflanze hindurchgeht, als solche aufgenommen wird, sondern auch wesentlich andere Kräfte diese Aufnahme bewirken, so kann man leicht begreifen, dass die in diesen Versuchen verwendeten verdünnteren Lösungen an denjenigen Stoffen, die in der Pflanze verarbeitet werden und so ihres osmotischen Gegendrucks verlustig gehen, mehr erschöpft werden als konzentriertere; denn die aufgenommenen Stoffe werden

*) Ebenda 1864, p. 203, u. 1865, p. 193.

nur bis zu einer gewissen Grenze in der Pflanze Verwendung finden können, so dass die höhere Konzentration unter Umständen nur eine unbedeutende Steigerung der Aufnahme veranlassen kann. Auch Satz 3 deutet auf eine chemische Verarbeitung, insofern aus den in destilliertes Wasser versetzten Wurzeln sehr schnell wieder der grösste Teil der aufgenommenen Stoffe osmotisch entweichen müsste, wäre nicht eine chemische Veränderung in eine colloïdale Form die Ursache des zähen Festhaltens.

Dass endlich die Aufnahme irgend eines Stoffes durch die Anwesenheit irgend eines andern in der gleichen Lösung befördert werden kann, erklärt sich ziemlich natürlich aus folgenden, uns teilweise schon geläufigen Gesichtspunkten.

Eine Pflanze, die in der Lösung eines einzigen Salzes vegetiert, ist natürlich nur kurze Zeit zur Assimilation und zur physiologischen Verarbeitung dieses Salzes, wenn es auch ein wahrer Nährstoff der Pflanze ist, befähigt, einfach weil viele anderen Stoffe fehlen, die zu gewissen unentbehrlichen Funktionen in Beziehung stehen. Es ist nun einleuchtend, dass immer diejenigen Stoffe, deren Fehlen sekundär auf die Verarbeitung anderer Stoffe schädigend einwirkt, die Aufnahme dieser beschleunigen werden.

Warum das Entgegengesetzte, eine Beeinträchtigung der Aufnahme irgend eines Salzes durch die gleichzeitige Anwesenheit eines anderen, unter manchen übrigens selten eintretenden Umständen stattfinden kann, ist dagegen so zu erklären, dass, wenn zwei Salze physiologisch ähnliche Wirkungen vollziehen, so zwar, dass das eine das andere bis zu einem gewissen Grade ersetzen kann, die gleichzeitige Anwesenheit beider nahezu gleichbedeutend ist mit entsprechender Konzentrationsvermehrung. Da die letztere die Aufnahme beschränkt, muss dies auch mit der ersteren der Fall sein*).

Wir wollen indessen noch etwas näher auf die Details der Wolf'schen Resultate eingehen und dieselben in teilweise tabellarischer Übersicht uns im einzelnen vorführen.

Versuche mit Feuerbohnen.

Das angewendete Salz.	Konzentration der verabreichten Flüssigkeit.	Konzentration der von den Pflanzen in gleichen Zeiten aufgenommenen Flüssigkeit.
Salpetersaures Kali	0,250 %	0,174 %
" "	0,100 "	0,109 "
" "	0,075 "	0,107 "
" "	0,050 "	0,114 "
" "	0,025 "	0,031 "
Salpetersaures Ammoniak	0,246 %	0,337 %
" "	0,098 "	0,110 "
" "	0,049 "	0,093 "
" "	0,025 "	0,039 "

*) Damit stimmt das Versuchsergebnis überein, dass Kalksulfat und Magnesiumsulfat als solche die beiderseitige Aufnahme schädigenden Stoffe gefunden wurden. Vergl. a. a. O., 1865, p. 202.

Salpetersaurer Kalk	0,503 %	0,308 %
„ „	0,252 „	0,162 „
„ „	0,101 „	0,085 „
„ „	0,075 „	0,046 „
„ „	0,050 „	0,033 „
„ „	0,025 „	0,017 „
Schwefelsaures Kali	0,250 %	0,118 %
„ „	0,100 „	0,069 „
„ „	0,050 „	0,035 „
„ „	0,025 „	0,019 „
Schwefelsaures Ammoniak	0,050 %	0,030 %
„ „	0,025 „	0,019 „
Schwefelsaurer Kalk	0,208 %	0,107 %
„ „	0,052 „	0,066 „
„ „	0,026 „	0,035 „
Phosphorsaures Kali	0,250 %	0,179 %
„ „	0,100 „	0,077 „
„ „	0,050 „	0,058 „
„ „	0,025 „	0,033 „
Phosphorsaures Ammoniak	0,231 %	0,129 %
„ „	0,093 „	0,043 „
„ „	0,023 „	0,026 „
Chlorkalium	0,050 %	0,031 %
„	0,025 „	0,024 „
Salmiak	0,050 %	0,040 %
„	0,025 „	0,025 „.

Es gelingt in der gegebenen Tabelle mit leichter Mühe, durch Vergleichung der beiden korrespondierenden Zahlen, zu sehen, ob die Aufnahme der gelösten Stoffe nach dem Saussure'schen Gesetze erfolgt ist, ob nicht. Ist die rechtsstehende Zahl grösser als die linksstehende, so ist die Aufnahme jenem Gesetze entgegen vor sich gegangen. In der That trifft dies bei vielen Salzen für mehrere Konzentrationsstufen zu, doch ist die Konzentrationsgrenze, wo sich das Aufnahmegesetz umdreht, für verschiedene Salze eine sehr verschiedene.

Die *salpetersauren Salze* wurden im allgemeinen mit grosser Energie aufgenommen, so dass beim salpetersauren Ammoniak, auch bei den höchsten der angewendeten Konzentrationen, das Salz in einem stärkeren Verhältnis in die Wurzel überging, als es in der Lösung vorhanden war. Beim salpetersauren Kali liegt die Grenze, wo gerade die Aufnahme der unveränderten Lösung erfolgte, etwa bei 1 Promille; und nur der salpetersaure Kalk wurde bis zu den schwächsten Konzentrationen von $^1/_4$ Promille nach dem Saussure'schen Gesetze aufgenommen.

Wenn wir die Verhältnisse, wie sie in der Natur liegen, berücksichtigen, so findet die Stoffaufnahme der Landpflanzen aus den verdünnten Nährstofflösungen, wie sie in der Ackererde sich vorfinden, fast niemals nach diesem sogenannten Gesetze statt.

Die schwefelsauren Salze zeigten im allgemeinen eine geringere Aufnahmebefähigung als die salpetersauren. Schwefelsaures Kali und Ammoniak wurden bis herab zu der schwächsten Konzentration in verdünnterer Lösung aufgenommen, als sie der Wurzel geboten wurden, und hier zeichnete sich der schwefelsaure Kalk im umgekehrten Sinne aus, indem derselbe von $^1/_2$ Promille an in stärkerem Verhältnis als das dazu gehörige Wasser aufgesogen wurde. Ähnlich wie die schwefelsauren Salze verhielten sich auch die phosphorsauren*).

Es darf nun selbstverständlich nicht erwartet werden, dass die so ermittelten Resultate, die zudem noch für jede Pflanze in verschiedener Weise sich dargestellt haben würden, bis in alle Details einer theoretischen Deutung fähig wären. Es erscheint deshalb auch an dieser Stelle zwecklos, weiter auf die Einzelheiten der ermittelten Daten einzugehen. Nur ist noch besonders hervorzuheben, dass von allen Salzen, mit denen experimentiert wurde, das salpetersaure Ammoniak weitaus in dem stärksten Verhältnisse, auch aus ziemlich konzentrierten Lösungen in viel stärkerem Verhältnisse als das Lösungswasser, aufgenommen wurde. Diese Thatsache kann in ganz zwangloser Weise so gedeutet werden, dass das in Rede stehende Salz innerhalb des pflanzlichen Organismus rasch zu stickstoffhaltigen organischen Stoffen verarbeitet werden kann**) und hierzu Base und Säure *in gleicher Weise* Verwendung findet, während bei allen anderen Salzen der eine Elementar-Bestandteil, soviel wir vermuten können, zu ganz anderen Zwecken verwendet wird als der andere und so die Verarbeitung des einen Stoffs von der Möglichkeit der Verarbeitung des anderen abhängig ist. Es gewährt diese Beziehung wenigstens einen Fingerzeig, wenn auch davor gewarnt werden muss, in derartigen Vermutungen allzu fruchtbar zu sein***).

Aus den weiteren Wolf'schen Untersuchungen über die Stoffaufnahme junger Mais- und Bohnenpflanzen aus Lösungen, die je 2 Salze enthielten†), lässt sich, wie schon gesagt, der Schluss machen, den wir schon vorausgeschickt haben, *dass*

*) Die Resultate bei einer anderen Versuchspflanze, dem Mais, waren im grossen und ganzen dieselben; nur wurde der schwefelsaure Kalk von diesen Pflanzen, entsprechend dem geringeren Schwefel- und Kalkbedürfnis der Gramineen, in sehr viel geringerem Verhältnis aufgenommen.

**) Hierbei ist freilich die Angabe Wolf's nicht ausser Augen zu lassen, dass seine Versuchspflanzen nicht durchgehend eine Zunahme an organischer Substanz im ganzen zeigten, noch, dass ausserdem die Anwesenheit der verschiedenen verabreichten salpetersauren Salze im pflanzlichen Gewebe als solche sich bekundete, indem die in den Lösungen gezogenen Pflanzen unter Funkensprühen verbrannten (vergl. Versuchsst., 1864, p. 221); doch erscheint mir trotzdem die Deutung auf eine teilweise Verarbeitung notwendig, da sich gerade die betreffenden Pflanzen üppiger entfalteten (vergl. ebenda, p. 218) und ungefähr das Doppelte des ursprünglichen Trockengewichts erreichten.

***) Über die eigentümlichen Wirkungen der verschiedenen Salzlösungen auf Wurzelausbildung und sonstigen Habitus vergl. die Originalabhandlung a. a. O.

†) Landw. Versuchsst., 1865, p. 193.

die Aufnahme einzelner Salze durch die gleichzeitige Anwesenheit eines andern wesentlich modifiziert und, wie wir hinzusetzen können, wenn es sich um Salze handelt, die als Nährstoffe dienen können, *in der Regel beschleunigt wird.*

Wir begnügen uns hier mit einigen wenigen Angaben, teils um einige Beispiele herauszugreifen, teils weil dieselben ein gewisses praktisches Interesse darbieten und später wieder benutzt werden sollen.

„Die Pflanzen nehmen die Kali- und Ammoniaksalze, wenn in der Lösung zugleich ein Kalksalz vorhanden ist, in weit grösserer Menge auf, als sie das aus einfachen Salzlösungen dieser Basen thun*)."

„Selbst das schwefelsaure Kali und das schwefelsaure Ammoniak, welche Salze aus einfachen Salzlösungen nur nach dem Saussure'schen Gesetze in die Pflanze übergehen, werden bei Gegenwart eines Kalksalzes in weit höherem Maasse aufgenommen."

„Die verdünntesten Auflösungen der Salzgemische von salpetersaurem Kali mit salpetersaurem Kalk oder salpetersaurer Magnesia wurden sogar, bis die Hälfte des verabreichten Flüssigkeitsvolums in die Pflanze übergegangen war, völlig an ersterem Salze erschöpft."

Neben diesen Untersuchungen über die Stoffaufnahme der Landpflanzen von Wolf verdienen, wie gesagt, noch die Knop'schen**) Versuche eine eingehendere Betrachtung. — Dieselben sind, wenn man näher zusieht, nach einer ganz anderen Methode angestellt wie jene. Knop ging bei seinen dahin gerichteten Versuchen von dem Grundsatze aus, die Pflanzen in sogenannten „vollständigen" Nährstofflösungen nach der gewöhnlichen Methode der Wasserkultur zu erziehen, dabei aber gleichzeitig *die quantitativen Verhältnisse der Nährstoffaufnahme zu berücksichtigen.*

Offenbar ist dies ein Versuchsplan, der sehr weit von dem ursprünglichen de Saussure'schen abweicht. Dieser wollte die Stoffaufnahme als rein physikalischen Prozess studieren und hat darum alle möglichen gelösten Stoffe verwendet, wenn er auch von denselben wusste, dass sie unmöglich Nährstoffe sein konnten. Knop hatte die Meinung aufgegeben, dass man es in der Stoffaufnahme mit einem rein physikalischen und elementaren Prozess zu thun habe, und studierte *die ganze komplexe Erscheinung*, aber *bei annähernd normaler Ernährung* der Versuchspflanzen.

Daraus geht hervor, dass wir aus den Knop'schen Versuchsresultaten zwar uns ziemlich genaue Vorstellungen bilden können *über die thatsächlich bestehenden Verhältnisse der Stoffaufnahme, dass aber aus denselben viel schwieriger ein Schluss zu machen ist auf die elementaren Faktoren der gleichen Erscheinung.* Auch hier werden wir nur die allgemeinsten und wichtigsten Resultate der genannten experimentellen Forschungen mitzuteilen haben, da sich selten eine Gelegenheit finden würde, belehrende Betrachtungen an dieselben anzuknüpfen.

*) Vergl. ebenda, p. 202.

**) Zusammengestellt in dessen Kreisl. d. Stoffs, II, p. 239—258; vereinzelt in Originalabhandlungen in den Landw. Versuchsst. ab 1861.

Aus seinen vielfachen Wasserkulturversuchen, die mit Buchweizen, Mais, Hafer etc. angestellt worden sind, zieht Knop unter anderem folgende endgültige Schlüsse*):

„Das Kali kann die Pflanze einer Lösung**), die 1 Promille salpetersauren Kalk auf je 1/4 Promille salpetersaures und phosphorsaures Kali und Bittersalz, dazu etwas aufgeschlämmtes phosphorsaures Eisenoxyd enthielt, vollständig entziehen.“

„Kalk und Magnesia können der Lösung unter keiner Bedingung entzogen werden, weil die Wurzel diese Basen als kohlensaure (Salze) an die Lösung ausserhalb derselben zurückliefert.“

„Die Salpetersäure wird unter allen Umständen aus der Lösung (vollständig) aufgenommen.“

u. s. w. für jeden einzelnen Nährstoff. Dann weiter:

„Die Körper, welche die Wurzel einer Lösung bis zur letzten Spur entziehen kann, so dass der ausserhalb der Wurzel befindliche Rest, während er von Stunde zu Stunde in dem Maasse, wie die Pflanze die Lösung aufsaugt, kleiner wird, immerfort ärmer an Stoff wird, sind:

Kali, Salpetersäure***), Phosphorsäure, Schwefelsäure.“

„Die Körper, an denen der eben besprochene Rest unter allen Umständen bei hinreichender Dauer des Versuchs, d. h. starker Verkleinerung der Reste konzentrierter wird, sind:

Kalk, Magnesia und die Schwefelsäure häufig.“

Diese Resultate, zusammengehalten mit den aus den Wolf'schen Versuchen abgeleiteten, lehren, dass der Übergang einzelner Salze in die Pflanzenwurzel, die schon *durch die gleichzeitige Anwesenheit einzelner anderen Salze beschleunigt wird, ein noch vollständigerer wird, wenn durch die gleichzeitige Anwesenheit einer grösseren Anzahl von Salzen* die gebotene Lösung zu einer normalen Wurzelernährung ausreichend ist. Um so mehr haben wir ein Recht, zu schliessen, dass die eine erhöhte Aufnahme begünstigenden Stoffe dadurch wirken, dass sie eine allseitige chemisch-physiologische Thätigkeit durch die vollkommenere Ernährung ermöglichen und so der Verarbeitung der aufgenommenen Stoffe, die wir als das wesentlichste Moment der Vernichtung des osmotischen Gegendrucks und damit der erneuten Möglichkeit der Aufnahme betrachtet haben, Vorschub leisten.

Als eine Ergänzung zu den ziemlich weitläufigen Versuchen von Wolf und Knop können dann noch Beobachtungen dienen, welche später von Sorauer†) über die Stoffaufnahme der Erbsenpflanze aus Nährstofflösung unter verschieden starker Verdunstung angestellt worden sind und woraus sich ergiebt, dass die aufgesogenen Lösungen um so ver-

*) Landw. Versuchsst., 1865, p. 106.

**) Siehe die neunzehnte Vorlesung, p. 297.

***) N_2O_5 wird nach einigen Beobachtungen Emmerling's bei der Aufnahme von N_2O_5-Salzen durch Oxalsäure der Wurzel frei. Es wurde nicht bloss die Zerlegung von CaN_2O_6, sondern auch von KNO_3, $NaNO_3$ (im letzteren Fall durch Beobachtung von Schichtendiffusion) durch $C_2H_2O_4$ beobachtet und hieraus Schlüsse gezogen. (Berl. Ber. 72, p. 212.)

†) Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphys., III, p. 429.

dünnter sind (die Aufnahme also desto mehr nach dem Saussure'schen Gesetze stattfindet), je stärker die Verdunstung ist, dass aber trotzdem unter diesen Umständen mehr Salze aufgesogen werden, da die Verminderung der Konzentration der aufgesogenen Lösung in einem kleineren Verhältnisse statthat, als die Wassermenge zunimmt, welche die Pflanze passiert. Hierdurch wird aufs deutlichste die Mitwirkung des lediglich durch die Verdunstung veranlassten Saftstroms auf die Stoffaufnahme dokumentiert.

Endlich ist noch ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass alle diese Versuche naturgemäss an sehr jungen Pflanzen von kleineren Dimensionen angestellt sind und dass bei diesen voraussichtlich die Momente der osmotischen Wirkung und physiologischen Verarbeitung viel mehr in den Vordergrund treten müssen als bei reifenden Pflanzen, deren Wurzeln sich zu desorganisieren beginnen und wenig chemische Umsetzungen zeigen, oder bei hohen Gewächsen, deren wichtigste physiologischen Verrichtungen weit entfernt sind von den Aufsaugungsorganen, während sie doch immer fortfahren zu transpirieren und organische Stoffe zu erzeugen und umzusetzen, zu welchen letzteren Thätigkeiten mineralische Stoffe nicht entbehrt werden können.

Das Bild, welches uns die besprochenen Versuche gewähren, ist darum für die mittleren Verhältnisse der Wirklichkeit ein etwas schiefes, und für diese wird sich der Einfluss der von spezifischen Anziehungen unabhängigen Saftsteigung in ungleich höherem Maasse dokumentieren. Das Blattparenchym einer erwachsenen Pflanze muss in seiner mineralischen Ernährung von der zufälligen Zusammensetzung des hindurchfliessenden Saftstromes beinahe ebenso abhängig gedacht werden wie eine Wasserpflanze von den Bestandteilen des Bachwassers, worin sie wächst, während bei Keimpflanzen das spezifische Wahlvermögen viel mehr in den Vordergrund tritt. Dass dadurch die Bedingungen gegeben sind zu einer Anhäufung von unnützen Aschenbestandteilen in den transpirierenden Organen, ist einleuchtend und wahrscheinlich liegt hierin eine der Ursachen des periodisch Unbrauchbarwerdens dieser Organe auch bei perennierenden Gewächsen, ja schliesslich eine Ursache des Todes des pflanzlichen Organismus überhaupt.

Auch dass man unter diesen Umständen auf eine passende chemische Form der Düngung bedacht sein muss, erhellt ohne weiteres, da bei vielen unnützen Beimengungen die Pflanze unter der Anhäufung derselben notwendig leiden muss, während bei der rein osmotischen Stoffaufnahme eine viel grössere Unabhängigkeit von dem zufällig gebotenen sich zeigen würde und bei der Ernährung von untergetauchten niedrigen Organismen sich auch faktisch zeigt.

Was dann die Frage nach dem Orte der Stoffaufnahme von seiten der Wurzel betrifft, so ist darauf zu antworten, dass vermutlich die ganze jugendliche Wurzel, soweit deren Oberfläche noch nicht mit Korkbildungen umkleidet ist, und namentlich an den Stellen, wo durch Ausstülpung der Oberhautzellen Wurzelhaare sich gebildet haben, an dem fraglichen Vorgang teilnimmt.

Aus der ganzen gegebenen Darstellung der Stoffaufnahme bei Luftpflanzen ist zu ersehen, wie trotzdem, dass bei derselben gegenüber der Stoffaufnahme der untergetauchten Wasserpflanze oder auch der des quellenden und keimenden Samens ein neues Moment, das der Wasserverdunstung, durch die oberirdischen Pflanzenteile in

Betracht kommt und so die Möglichkeit sich eröffnet, dass neben Stoffen, die eine chemische Veränderung innerhalb der Pflanze erfahren, auch solche aufgenommen werden können, die wir als ganz nutzlose und rein zufällige Bestandteile derselben anzusehen berechtigt sind, doch die dort wirkenden Momente auch bei der Stoffaufnahme durch die Wurzel namentlich der jugendlichen Luftpflanze eine hervorragende Rolle spielen, so dass die Assimilation gelöster Stoffe bei jenen so verschieden begabten Organismen mehr Übereinstimmung zeigt, als es auf den ersten Blick erscheinen möchte. Am deutlichsten ist dies aus dem Umstand zu ersehen, dass Stoffe, die einer physiologischen Verarbeitung nur in sehr beschränktem Maasse fähig sind, gar häufig dem Verdunstungsstrom entgegen durch die Wurzeln wieder abgeschieden werden. Ich erinnere an das Verhalten der salpetersauren Magnesia und des salpetersauren Kalks, die mit Begierde von der Pflanzenwurzel aufgesogen, nach Abspaltung aber der rasch verarbeitungsfähigen Stickstoffverbindung an Kohlensäure gebunden von der Wurzel abgeschieden werden. Freilich darf man auch in umgekehrter Richtung wieder nicht vergessen, dass teilweise auch andere mehr oder weniger entbehrliche Bestandteile hauptsächlich durch den Wasserstrom in die Pflanze übergeführt werden.

Hier mag denn auch gleich einiges Allgemeine über Wurzelausscheidungen gesagt werden — Vorgänge, die natürlich nach denselben, uns freilich vielfach verhüllten Gesetzmässigkeiten vor sich gehen. Wenn in einer vereinzelten, sich gänzlich in einem wässrigen Medium befindenden Zelle ein Stoff durch einen chemisch-physiologischen Prozess Entstehung nimmt, so ist, wenn der entstehende Körper in Bezug auf Protoplasma und Zellhaut überhaupt osmotische Eigenschaften besitzt, wie wir früher gesehen haben, der *Entstehungsort* wie ein *Abstossungscentrum* für diesen Körper zu betrachten, und jener wird wie der Alkohol aus der Hefezelle in die umgebende Flüssigkeit entweichen.

Die Wurzel einer jungen Luftpflanze befindet sich nun, wie wir nicht mehr weiter auszuführen brauchen, in ganz ähnlichen Verhältnissen wie ein Komplex solcher untergetauchten Zellen, und es kann deshalb nicht wunder nehmen, dass Wurzelausscheidungen bei vielen Wasserkulturen beobachtet worden sind, so namentlich Ausgabe von kohlensauren Salzen der alkalischen Erden*), von grossen Mengen von freier Kohlensäure**), von Salzsäure bei Stickstoffzufuhr in Form von Salmiak, vielleicht auch von organischen Stoffen; und es zeigt dies wie keine andere Thatsache, dass in Wirklichkeit osmotische Kräfte nicht bloss in der endosmotischen, sondern auch in der exosmotischen Richtung wirksam sind.

Allein man muss vorsichtig sein in der Übertragung dieser Wurzelausscheidungen auf die gewöhnlichen Vegetationsverhältnisse einer Bodenpflanze. Am deutlichsten ersehen wir dies aus der (z. B. den vorhin besprochenen Wolf'schen Versuchen zu entnehmenden) Thatsache, dass eine in Nährstofflösung kultivierte Pflanze, in destilliertes Wasser versetzt, Stoffe, wenn auch in sehr geringen Mengen, ausgiebt, die sie bei unveränderter Ernährung konserviert oder von denen sie gar noch fort

*) Z. B. Knop: Mitteil. d. landw. Inst. d. Univ. Leipzig, B. I, p. 80.
**) Knop: Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 129, p. 287.

und fort neue Mengen assimiliert haben würde. Diese Erscheinung, welche osmotisch leicht zu erklären ist, zeigt, wie es bei der Stoffabgabe ganz und gar auf die Beschaffenheit der äusseren Flüssigkeiten ankommt, welche man vor und bei einem solchen Versuch verwendet. Es darf deshalb nicht aus dem Verhalten einer Pflanze, die man mit den Wurzeln aus der Erde genommen und in destilliertes Wasser versetzt hat, auf ihr Verhalten geschlossen werden, das sie beim Verbleiben im Boden gezeigt haben würde. Im ersten Falle wird sie eine Reihe von aufgenommenen Stoffen wegen der umgekehrten Diffusionswirkung, die sich nun geltend macht, wieder nach aussen abgeben, während sie dieselben unter normalen Verhältnissen festgehalten haben würde. Auch dieser so selbstverständlich scheinende Punkt ist übersehen worden, wenn man glaubte, durch jenes erstere Verhalten die normalen Wurzelausscheidungen bestimmen zu können.

Dazu kommt, dass, je grössere Dimensionen die Pflanze annimmt, je weiter sich die physiologischen Orte der Verarbeitung der aufgenommenen Stoffe von dem Platze dieser Aufnahme selber entfernen, desto mehr die rein mechanische Aufsaugung über den osmotischen Austausch überwiegen müssen. Auch insofern geben die angestellten Versuche leicht ein schiefes Bild von der Sache, da sie naturgemäss immer mit jungen Pflanzen angestellt worden sind.

Es gab eine Zeit, wo man an der Thatsache, dass unsere gewöhnlichen Bodenpflanzen durch die Wurzel wahre Exkremente regelmässig abgeben, nicht im geringsten zweifelte. Allein die Beobachtungen, auf die sich die genannte Annahme stützte, waren im besten Falle nach Methoden angestellt worden, die wir soeben als zu übertriebenen Schlussfolgerungen Veranlassung gebend verworfen haben, und auch über die Natur dieser ausgeschiedenen Substanzen konnte man sich nur sehr vage Anschauungen bilden. Teils sprach man von organischen Stoffen, teils von ungeeigneten, von aussen aufgenommenen Substanzen, welche die Pflanzenwurzel, nachdem sie sich überzeugt habe, dass doch nichts Rechtes mit denselben anzufangen sei, reuig, etwa wie ein Hund, der aus Versehen einen Stein statt eines Knochens erwischt hat, wieder von sich gebe.

Diese unbegründeten Anschauungen sind deshalb auch heute einer Erwähnung wert, weil Decandolle auf dieselben eine Theorie des Fruchtwechsels aufgebaut hat, deren Einfluss eine Zeit lang in der Landwirtschaftslehre zu verspüren war. Die Boussingault'sche Entwickelung dieser Ansicht ist wie folgt:

> „Decandolle betrachtet diese Vorstellung als die Grundlage einer Theorie der Wechselwirtschaft. Wenn man die Absonderungen aus den Wurzeln als Exkremente der Vegetation betrachtet, so begreift man sehr wohl, wie diese Exkretionen, nachdem sie einmal in den Boden übergegangen sind, der Pflanze, welche sie erzeugt hat, ebenso schädlich werden können, wie es die einem Tiere zur Nahrung dargebotenen Exkremente sein würden; wechselt man dagegen beim Anbau die Pflanzenart, so wird die neue Pflanze aus den Exkretionen der vorigen Ernte Gewinn ziehen können, indem sie dieselbe als Nahrungsmittel aufnimmt. Es scheint aber“, fährt Boussingault fort, „als ob diese sinnreiche Idee nicht auf hinlänglich genauen Beobachtungen beruhe und schon dadurch fehlerhaft sei, dass die Absonderung durch die

Wurzel noch keineswegs genügend festgestellt ist. Von einer andern Seite, selbst wenn man eine solche Absonderung als vollkommen erwiesen annimmt, giebt es zahlreiche Fälle, welche zeigen, dass viele Pflanzen in einem mit ihren Exkretionsmaterien erfüllten Boden fortfahren können zu vegetieren. Die Kultur der Halmfrüchte z. B. kann streng genommen ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, wie es auch bei der Dreifelderwirtschaft stattfindet. Auf den Hochebenen der Anden habe ich Getreideländereien gesehen, welche seit zwei Jahrhunderten jährlich gute Ernten an Körnern liefern; der Mais kann sich gleichsam fortwährend ohne den mindesten Übelstand auf demselben Boden erzeugen, was eine im südlichen Europa wohlbekannte Thatsache ist etc." *)

Es ist nicht nötig, der Kritik Boussingault's ein Wort hinzuzusetzen. Über die moderne Begründung des Fruchtwechsels will ich hier kurz anführen, dass einmal schon der verschiedene Bedarf an den im Boden disponibeln Stoffen auf die Nützlichkeit eines solchen hinweist, indem der Bedarf ja ausserordentlich, wie wir vorhin ausgeführt haben, die Aufnahme beeinflusst, und so der Boden durch manche Gewächse an den verschiedenen Stoffen sehr ungleichmässig erschöpft wird. — Weiter kommen dann die Wurzelrückstände, d. h. die nicht geernteten Teile der produzierten Pflanzenmasse in Betracht, welche je nach ihrer Menge, Zusammensetzung und ihren Zersetzungsprodukten nachfolgende Kulturen in sehr verschiedener Weise begünstigen. Namentlich sind natürlich in dieser Richtung die stickstoffsammelnden Leguminosen zu nennen. Aber den bedeutendsten Einfluss auf den Fruchtwechsel haben die sich bei gewissen Kulturen einstellenden Schädlinge, die charakteristischen Unkräuter, welche nur durch den Anbau von Hackfrüchten vernichtet werden können, die Schmarotzer aus dem Pflanzen- und Tierreiche, welche sich bei der Wiederkehr derselben Gewächse festsetzen und die weitere Kultur unmöglich machen, daher denn auch Pflanzen, die wenig Feinde haben, häufig Ausnahmen von dem Zwang des Fruchtwechsels machen (Roggen auf den „Esschen" in der holländischen Provinz Drenthe, Mais in Südamerika, Tabak in Gelderland, viele Bäume u. s. w.).

Aus den gemachten Auseinandersetzungen geht hervor, dass keineswegs das gelegentliche oder auch ganz regelmässige Bestehen von Wurzelexkretionen für die Landpflanzen, etwa als dem Wesen des Ernährungsprozesses der Pflanze widersprechend, geleugnet werden soll. Bei gewissen Verhältnissen im Boden dürfen wir sogar manche Ausscheidungen als normal ansprechen. Doch haben wir keine Ursache, derartigen Vorgängen einen solchen Umfang von Bedeutung vorzuschreiben, dass wir berechtigt wären, Theorien, wie die Decandolle'sche, darauf aufzubauen.

Ehe wir das Kapitel der Stoffaufnahme und Stoffausgabe durch osmotische Wirkungen völlig verlassen, ist noch eines Vorgangs Erwähnung zu thun, der, obgleich ohne tiefere Bedeutung für unsern Gegenstand, ganz strenge hierher gehört.

*) Ganz ähnlich wie die Anschauungen Boussingault's sind die Braconnot's (Recherches sur l'influence des plantes sur le sol. Ann. d. Ch. et d. Ph., B. 72, p. 27), der gestützt auf ähnliche Beobachtungen die Theorie von Decandolle widerlegte. Vergl. Boussingault: Die Landwirtschaft etc., deutsch von Gräger, 1845, B. II, p. 178.

Ich meine die Aufnahme von *tropfbar flüssigem Wasser durch die oberirdischen Pflanzenorgane,* die ja unter gewissen, in den meisten Klimaten ganz regelmässig wiederkehrenden Umständen mit diesem Medium durch den Regen und den Tau in Berührung kommen.

Die Frage nach der Wasseraufnahme auf dem bezeichneten Wege schliesst sich ganz eng an die schon früher kurz behandelte*) der Aufnahme von gasförmigem Wasser durch dieselben Organismen an; denn offenbar wird eine imbibitionsfähige Membran, welche die Fähigkeit besitzt, Wassergas in ihren Poren zu verdichten und weiter zu befördern, noch weit eher die Fähigkeit haben, mit schon verdichtetem Wasser ein Gleiches vorzunehmen. Im allgemeinen müssen wir daher wie dort die Frage nach der Möglichkeit einer solchen Wasseraufnahme durch die Blattorgane etc. bejahen, selbst wenn unsere Bejahung für die uns interessierenden Kulturpflanzen praktisch von geringer Bedeutung sein sollte.

Aber gerade wegen dieser geringen praktischen Bedeutung sehen wir auch einzelne Physiologen**) die Frage geradezu verneinen. Fast die ganze Oberhaut der oberirdischen Pflanzenorgane und namentlich diejenigen Teile, welche viele Spaltöffnungen enthalten, sind in einer Weise kutikularisiert und mit wachsartigen Teilen imprägniert, dass deren Benetzung geradezu unmöglich oder sehr erschwert ist. Auf die Laubblätter gefallenes Wasser fliesst bekanntlich in runden Tropfen ab, und aus demselben Grunde zeigen diese Blätter unter Wasser in der Regel den schönen Silberglanz, indem an der Grenzschicht von Wasser und Luft das Licht total reflektiert wird. Am deutlichsten ist diese Beziehung der unbenetzbaren Oberhaut zu dem Vorhandensein von Spaltöffnungen an den an der Oberfläche des Wassers schwimmenden Blättern mancher Wasserpflanzen ersichtlich, indem hier die obere, mit Spaltöffnungen versehene Blattseite Tropfen ohne alle Benetzung abrollen lässt, während die untere, die nur wenig Spaltöffnungen besitzt, am Wasser adhäriert. Der Nutzen dieser Beziehung für die Wegsamkeit der Spaltöffnungen liegt nach früher über diesen Punkt gemachten Bemerkungen auf der Hand.

Weitere Schwierigkeiten scheinen darin zu bestehen, dass gerade die äusserlich liegenden Zellen infolge der Assimilation am reichsten mit organischen wasseranziehenden Stoffen versehen sind und schon aus diesem Grunde von da rückwärts die Wasserbewegung sehr erschwert ist.

Nur die *Rippen* der Laubblätter weichen von dem geschilderten Verhalten ab und sind manchmal direkt benetzbar, und durch diese Teile muss auch schon von Anfang an eine geringe Wasseraufnahme erfolgen können, ebenso durch die gesamte Blattfläche, wenn nach häufigerem Regen oder im Spätsommer die Schwerbenetzbarkeit überwunden ist. Doch ist die Aufnahme auch in diesen Fällen gering, so dass es mehreren Forschern kaum möglich war, sie bei der gesunden Pflanze durch das Experiment nachzuweisen.

*) Siehe die einundzwanzigste Vorlesung, p. 349.

**) Vergl. hauptsächlich Duchartre: Compt. rend., T. 46, p. 205. Die entgegengesetzte Ansicht durch Versuche von Cailletet (Ann. d. Scienc. nat., T. 12, p. 1) und von Rischawi (Botan. Centralbl., 1884, p. 190).

Der Hauptvorteil, den die etwas verwelkte Luftpflanze durch Regen, Tau etc. empfängt, liegt jedenfalls darin, dass *frisch benetzte Blätter keine erhebliche Transpiration unterhalten können* und dass unter solchen Umständen die Pflanzen nun durch den wieder mehr zur Geltung kommenden Wasserstrom in Saftfülle geraten. Das Wasserquantum, welches in einem Gewächse enthalten ist und welches durch seine Grösse Saftleere oder Turgescenz bewirkt, ist ja von dem Zusammenwirken der beiden Faktoren, Wasseraufnahme und Wasserabgabe, bedingt, also kann die Schwächung des einen genau dasselbe bewirken wie die Steigerung des andern.

Doch auch hiermit ist das Kapitel von dem Stoffverkehr mit der äusseren Umgebung noch nicht völlig beendigt.

Wir haben an die Spitze unserer Betrachtungen über diese Vorgänge den Satz gestellt: Corpora non agunt nisi fluida. Es giebt nun in der Lehre der Pflanzenernährung eine scheinbare Ausnahme von diesem Satz, dessen Gemeingültigkeit unsere bisherigen Untersuchungen nur bestätigen konnten. Ich will zuerst die beobachtete Thatsache namhaft machen und alsdann werde ich zu zeigen haben, dass auch sie sich bei näherer Beleuchtung jenem allgemeinen Prinzipe unterordnet.

Man hat beobachtet, dass, wenn polierte Platten leicht zersetzbarer Mineralien, wie z. B. Marmorplatten, so in den Boden eingegraben werden, dass Wurzeln lebender Landpflanzen mittelst ihrer feinsten Verzweigungen mit ihnen in Berührung kommen, durch diese letzteren Korrosionen auf den Platten erzeugt werden, die ganz die Gestalt der sich längs der polierten Fläche verzweigenden Würzelchen haben. Es ist ganz unmöglich, daran zu zweifeln, dass diese Korrosionen direkt durch die Wurzeln hervorgebracht werden, und es lässt sich denken, wie sehr durch diese Thatsache die unbestimmte Annahme eines selbstthätigen Wahlvermögens der Wurzel, infolge deren dieselbe gelöste Substanzen unter Umständen verschmäht, ungelöste sich zur aufnehmbaren Nahrung bereitet, bestärkt werden musste. Ich brauche wohl hier nicht nochmals auf die Unzulässigkeit einer solchen Annahme eines instinktiven Wahlvermögens bei der Pflanze hinzuweisen. Die Proklamation eines derartigen Wahlvermögens würde, wenn diese Benennung überhaupt etwas anderes sein soll als eine bequeme Ausdrucksweise für eine Summe in ihrem Zusammenhang noch unbegriffener Erscheinungen, einen physiologischen Apparat in der Pflanze voraussetzen, welcher ihr gestattete, Wahrnehmungen zu machen, ähnlich wie das Nervensystem der höheren Tiere diese zu sinnlichen Wahrnehmungen befähigt. Es braucht nicht hinzugesetzt zu werden, dass ein solcher Apparat in den Pflanzen nicht existiert.

Fasst man dann die Frage nach den Wurzelkorrosionen näher ins Auge, so gelingt deren Zurückführung auf uns bereits geläufige Thatsachen mit leichter Mühe. Wir wissen, dass die feinsten Wurzelendigungen gar häufig einen sauren Zellsaft in sich enthalten. Es ist schon wiederholt davon die Rede gewesen, dass die Landpflanzen, in wässrigen Lösungen erzogen oder aus der Erde in Wasser oder Lösungen versetzt, durch ihre Wurzeln grosse Mengen von Kohlensäure abzuscheiden pflegen*). Aber nicht bloss Kohlensäure ist eine sehr häufig beobachtete Wurzelausscheidung und darum als ein regelmässiger Bestandteil des Wurzelsaftes zu betrachten, auch

*) Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 129, p. 187 u. besonders p. 332.

andere kräftigere Säuren, eine Anzahl von organischen Säuren ist in freiem Zustande in der Wurzel beobachtet worden. Ich erinnere nur daran, dass man die Aufnahme grosser Mengen Thonerde, wie man sie z. B. bei den Lycopodiaceen*) beobachtet hat, der besonders stark sauren Reaktion des Wurzelsaftes zuzuschreiben geneigt ist u. dergl. mehr. Vor allem wird hierbei der Oxalsäure ihrer grossen Verbreitung wegen eine Rolle zugemessen werden können, und wenn deren Einwirkung auf kalkige Gesteine auch (durch die Entstehung eines unlöslichen Produkts) ein rasches Ende bereitet zu sein scheint, so hat doch Emmerling gezeigt, dass die Wirkung kontinuierlich wird, sobald eine Spur Nitrat neben der Oxalsäure zugegen ist, wodurch zunächst etwas freie Salpetersäure, alsdann ein lösliches Salz entsteht, das erst später in Oxalat übergeht und sich solchermaassen nicht an die korrodierte Fläche anheftet**).

Wir wissen ferner, dass der Zellsaft der Wurzelzellen in imbibitionsfähige Membranen eingeschlossen ist und dass wir uns die molekularen Zwischenräume dieser Membranen auch mit den Molekülen der Säuren, die etwa im Zellsaft vorhanden sind, ebenso wie mit denen des Wassers erfüllt denken müssen. Es lässt sich dies Verhalten ja dadurch leicht demonstrieren, dass man unverletzte Wurzelspitzen frischer lebenden Pflanzen sanft an blaues Lackmuspapier andrückt, oder besser Samen zwischen dem befeuchteten Reagenzpapier keimen lässt (weil dann der Einwurf einer Verletzung der Zellen nicht gemacht werden kann), wo dann die saure Reaktion zum Vorschein kommt. Der Einwurf, dass Säuren nicht durch Zellhaut oder gar durch Primordialschlauch hindurchgehen können, gründet sich doch nur auf den groben Augenschein der Plasmolyse, während die gleichmässige Verteilung der Säuren im Leibe der Pflanze unter gewissen Umständen das Umgekehrte lehrt.

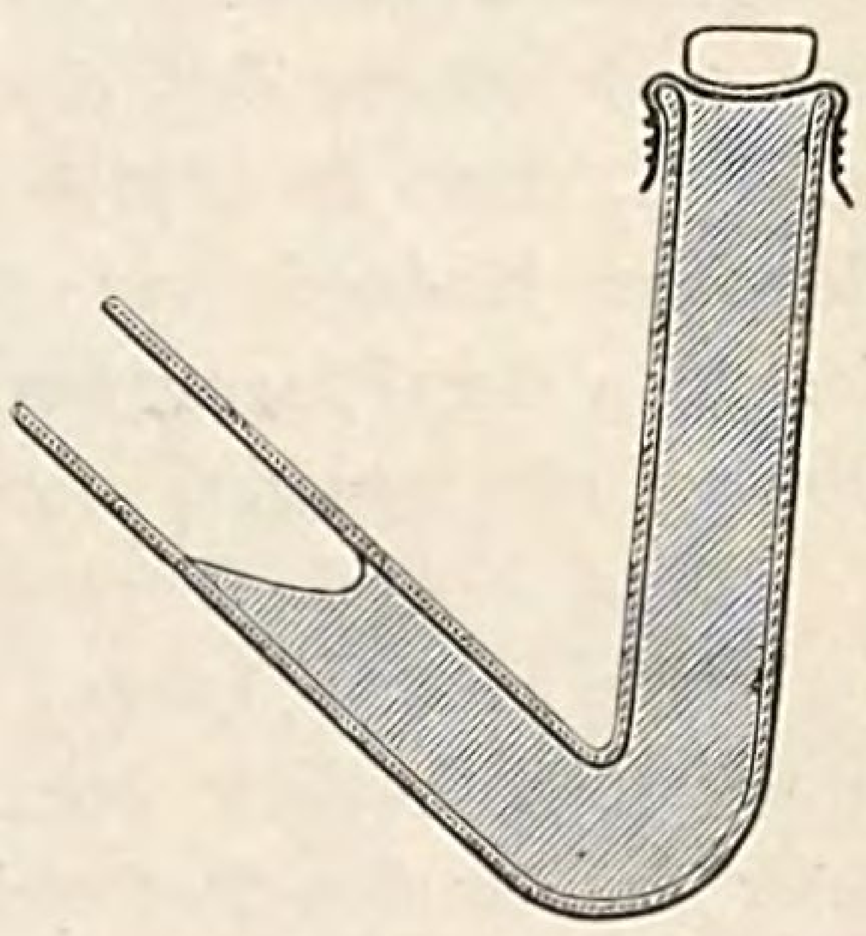


Fig. 24.

Behalten wir diese Sachlage nun im Sinne, so ist auch leicht verständlich, warum ein fester Körper, ist er nur an sich im sauren Wurzelsafte löslich, durch blosse Berührung mit den Wurzeln in Lösung übergeführt werden und der Pflanze zur Ernährung dienen kann. Die in der äusseren Membran der Wurzelhaare eingelagerten Säureteilchen sind ja thatsächlich in inniger Berührung mit dem festen Körper ihrer Umgebung und werden ihre gewohnte Reaktion diesem gegenüber geltend machen, d. h. ihn in Lösung überzuführen suchen. Die nun gelösten Teile sind mit der Membran in Berührung und werden nach den vielbesprochenen osmotischen Gesetzen auch in die Wurzelzellen gelangen können, und eben nach diesen Gesetzen um so eher, je ärmer die Zellflüssigkeit an diesen Stoffen ist.

*) Vergl. die achtzehnte Vorlesung, p. 294.

**) Der Verfasser hat einmal den Oxalsäuregehalt und den Gehalt an freier Säure in Wurzelfasern bestimmt und im Klee am meisten, in Gramineen und Stoppelrüben weniger, am wenigsten in Flachs gefunden. Genauere Bestimmungen der Konzentration an lösl. Säuren im Safte von Wurzeln von sehr verschiedenen Pflanzen sind ganz neuerdings durch B. Dyer (Journ. s. l. Chem. Soc., 65, March 1894) vorgenommen und in Leguminosen, Cruciferen und Ranunculaceen durchschnittlich ungefähr 1%, in Gramineen, Kompositen, Solaneen kaum mehr als die Hälfte gefunden worden.

Dass die gegebene Interpretation des beobachteten Verhaltens durchaus zulässig ist, lässt sich durch einen sehr einfachen Versuch*), den ich vorbereitet habe, anschaulich machen. Ich habe eine Glasröhre aufgestellt, deren einer Schenkel mit einer künstlichen Membran, dem schon früher benutzten vegetabilischen Pergament, verschlossen ist. Die Röhre ist mit einer wässrigen Flüssigkeit angefüllt, dieselbe zeigt eine stark saure Reaktion, wie man an darin eingetauchtem blauem Lackmuspapier erkennen kann, das sich intensiv rötet — dem Wasser ist Essigsäure beigefügt. Die Membran, welche die Röhre nach oben abschliesst, grenzt mit ihrer unteren Fläche an die saure Flüssigkeit, ist also auch mit derselben imprägniert. Trotzdem kann dieselbe nicht hindurchdringen, selbst wenn kein bedeutender Filtrationswiderstand vorhanden wäre, da der äussere auf der Membrandiffusion lastende Druck etwas höher ist als der innere, wie aus dem ungleichen Stande der Flüssigkeit in den beiden Schenkeln sich ergiebt. Siehe Fig. 24 auf der vorigen Seite.

Ich lege nun ein Stückchen Kreide, die bekanntlich in Essigsäure leicht gelöst wird, auf diese Membran und überlasse den kleinen Apparat sich selbst bis zur nächsten Vorlesung. Ich werde sodann der äusseren Flüssigkeit des Cylinders ein paar Tropfen Oxalsäure, die mit dem essigsauren Kalk einen in überschüssiger Essigsäure unlöslichen Niederschlag giebt, zusetzen, und wenn wir nach diesem Zusatz nach einiger Zeit einen weissen Niederschlag entstehen sehen, so ist der Beweis geliefert, dass die Auflösung eines Teils der oben aufgelegten Kreide durch die Membran hindurch vor sich gegangen ist, und nichts hindert uns, ein analoges Verhalten der Pflanzenwurzel da, wo sie Korrosionen an Marmor, Phosphorit, Kalk, Dolomit etc. bewirkt, anzunehmen.

Diese einfache Vorstellung, welche wir uns von jenem anscheinend merkwürdigen Verhalten gebildet haben, verweist nun aber dasselbe ganz in die Reihe der schon so weit als thunlich behandelten osmotischen Vorgänge bei der Stoffaufnahme und unter das für den Stoffwechsel erkannte Prinzip, dass nur eine Substanz in flüssiger Form in die Pflanze eindringen könne. Die hier behandelte Stoffaufnahme, bei welcher die Pflanze zur Verflüssigung der zu assimilierenden Substanzen mitwirkt, spielt, wie wir im zweiten Teile dieser Vorlesungen sehen werden, bei einer Theorie der Ernährung der Pflanze in der natürlichen Ackererde — die sich aber ohne Kenntnis der Eigenschaften dieser Ackererde nicht behandeln lässt — eine bedeutende Rolle. Der eben beschriebene Versuch wird, worauf ich schon jetzt hindeuten will, als ein Beweismittel für jene Theorie angesehen und verdient daher mehr Bedeutung, als er auf sich zu lenken geeignet erscheint.

Es sind auch nicht jene korrodierten Marmorplatten allein, die für die Aufnahme der Pflanzenwurzel von ungelösten Stoffen sprechen, sondern vielmehr schon das Bild einer jeden aus dem Boden entnommenen Wurzel. Man findet eine jede, in einem einigermaassen fruchtbaren Boden gewachsene Pflanze, wenn man sie aus der Erde entfernt, dicht umgeben von einer Erdmasse, die gleichsam wie eine Hose die Wurzel umgiebt. Vergl. Fig. 25. Man kann allerdings einen Teil der umhüllenden Erdmasse durch Schütteln entfernen, niemals aber alle Erdpartikelchen, ohne die Wurzel

*) Derartige Versuche hat zuerst Zöller auf Liebig's Veranlassung in dem Laboratorium des letzteren ausgeführt (vergl. Landw. Versuchsst., 1863, p. 45).

selbst zu verletzen, losbekommen. Es ist eine wirkliche Verwachsung zwischen Wurzel und Erdpartikelchen eingetreten, die man sogar unter dem Mikroskop konstatieren kann. Vergl. Fig. 26. Natürlich muss bei einer so innigen Berührung alles aus der Berührungsfläche der anliegenden Partikelchen aufgelöst werden, was überhaupt die Zellflüssigkeit zu lösen vermag, und es wäre gewiss verfehlt, die Wirksamkeit dieses Verhältnisses für die Ernährung zu unterschätzen. — Ganz in dasselbe Kapitel gehört ferner die Assimilation von Phosphorsäure und Eisen aus dem bei der Wasserkultur aufgeschwemmten und auf die Wurzel

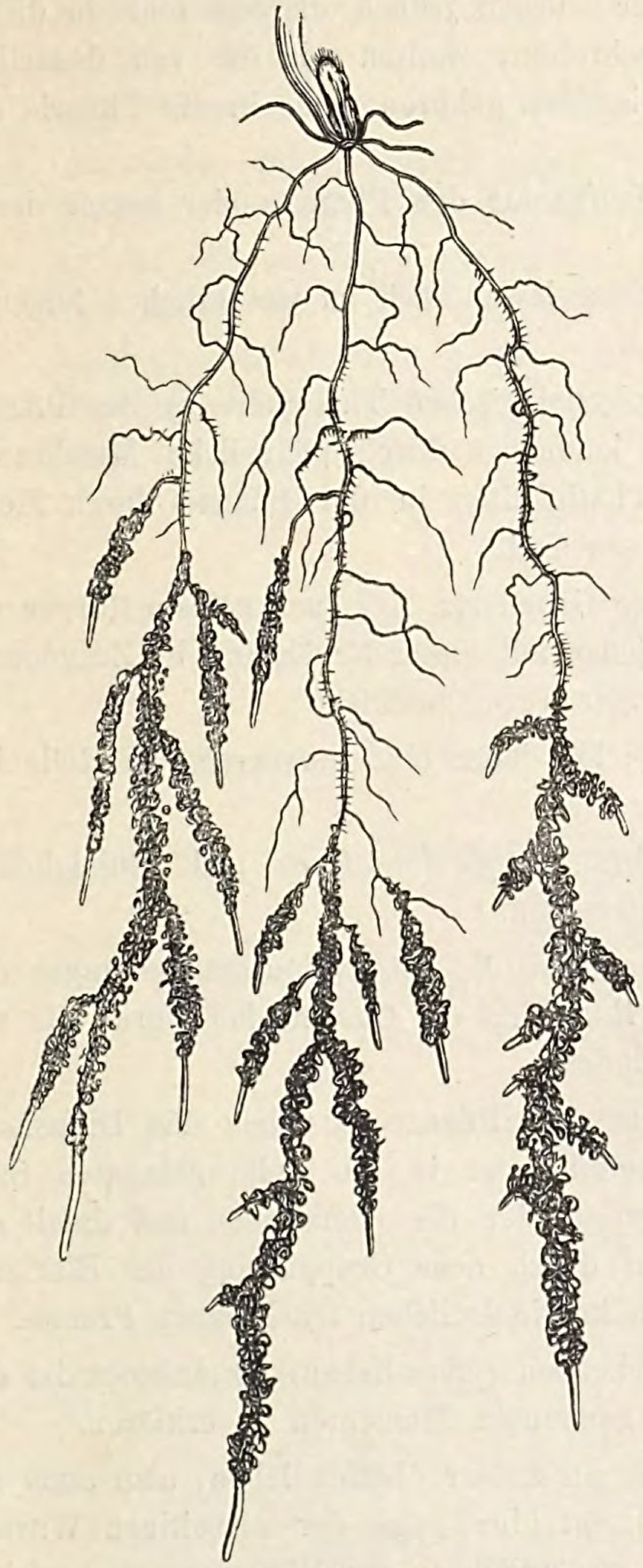


Fig. 25. — Wurzel mit anhängenden Bodenteilchen [nach Sachs].



Fig. 26. — Wurzelhaare mit Bodenteilchen verwachsen. Vergr. 800 [nach Sachs].

abgelagerten phosphorsauren Eisenoxyd, welche auf die gleiche Weise erfolgt.

Aus der ganzen Darstellung dieses Gegenstandes — und nicht allein aus dem zuletzt erläuterten Modus der Stoffaufnahme — erhellt, dass für die Ernährung einer Landpflanze im Boden ausser dem Säuregehalt ihrer Wurzelsäfte die Grösse ihrer Wurzeloberfläche, d. i. die Feinheit der Verzweigung ihrer Wurzeln im Boden sehr

in Betracht kommen muss. Mit Recht hat deshalb v. Liebig auf diesen Umstand aufmerksam gemacht und die Wurzelverzweigung dem Studium der Agrikulturchemiker und Pflanzenphysiologen warm empfohlen. Fraas*) hat mit diesem Studium später Ernst gemacht und H. Thiel zahlreiche schöne Photographien von Wurzeln der landwirtschaftlichen Pflanzen geliefert; wir würden jedoch die uns hier in dieser Darstellung gesetzten Grenzen weit überschreiten, wollten wir die von denselben geförderten Resultate hier produzieren. Dieselben gehören mehr in die Theorie des speziellen Pflanzenbaues.

Hiermit ist das Kapitel von der Stoffaufnahme der Pflanze oder besser deren Stoffaustausch als erledigt anzusehen.

Als Resultat der vier letzten Vorlesungen lassen sich im wesentlichen folgende Sätze betrachten:

1) Alle Stoffe, die zu einer chemisch-physiologischen Thätigkeit in der Pflanze gelangen sollen, müssen von aussen kommend durch pflanzliche Membranen hindurchgehen, da die Orte jener Thätigkeiten in der Pflanze durch Membranen nach der Aussenwelt geschlossen sind.

2) Hieraus ergiebt sich der gemeingültige Grundsatz, dass nur gelöste Körper die Pflanzen zu ernähren vermögen, dass jeder mit dieser Ernährung im Zusammenhang stehende Stoffaustausch in flüssiger Form geschieht.

3) Die Gesetze der Membrandiffusion spielen daher eine hervorragende Rolle bei der Stoffaufnahme der Pflanze.

4) Nur (in Bezug auf die Pflanzenmembran) *diffusible* Gase und Flüssigkeiten können zur Aufnahme und Ausgabe gelangen.

5) Bei dem Gasaustausch der Pflanzen spielen die Absorptionserscheinungen der Gase im Wasser eine hervorragende Rolle, da die Gasdiffusion durch die mit Wasser imbibierten Membranen stattfindet.

6) Ein zweites Moment des Stoffaustausches der Pflanze ist neben den Diffusionsvorgängen die physiologische Verarbeitung der in die Zelle gelangten Substanzen. Erst mit Hilfe dieses Vorgangs, der die chemischen und damit die Diffusionseigenschaften der Substanzen durch neue Gruppierung der Elemente abändert, wird die Diffusion zu einem kontinuierlichen fruchtbaren Prozess.

7) Für alle in einem einzigen Medium lebenden (pflanzlichen) Organismen ist der Stoffaustausch allein aus den beiden genannten Momenten zu erklären.

8) Für die Pflanzen, welche an den Grenzen zweier Medien leben, also auch für die Landpflanzen, tritt ein neues Moment hinzu, das der einseitigen Wasserverdunstung, aus welchem sich im wesentlichen der Wasserstrom herleiten lässt, welcher alle so situierten Gewächse durchfliesst.

9) Die Stoffaufnahme durch die Wurzel der Landpflanze wird durch diesen Wasserstrom wesentlich alteriert, und dieselbe geschieht in komplizierterer Weise wie die Stoffaufnahme der untergetauchten Wasserpflanze.

*) Fraas: Das Wurzelleben der Kulturpflanzen etc., 1870.

10) Bei den ganz in tropfbaren Flüssigkeiten lebenden Pflanzen geschieht alle Stoffaufnahme in tropfbar flüssiger Form, und nur die Stoffausgabe ist teilweise gasförmig; bei den zum Teil in die Luft sich ausbreitenden Gewächsen geschieht der Stoffaustausch teilweise gasförmig.

11) Feste Körper können scheinbar auch direkt als Pflanzennahrungsmittel dienen, insofern sie mit der Membran der feinsten Wurzelteilchen von Landpflanzen unmittelbar in Berührung kommen.

12) Bei einem jeden Gewächs hängt die Fähigkeit, sich aus einem benachbarten Medium zu ernähren, ausser von den lösenden Eigenschaften seiner Säfte, von der Grösse der an dieses grenzenden funktionierenden Oberfläche des Gewächses ab; bei der Landpflanze speziell die Fähigkeit, aus einem gegebenen Bodengemische Nutzen zu ziehen, von der Wurzeloberfläche, d. i. also von der Feinheit der Wurzelverzweigung.

Fünfter Abschnitt.

Sonstige Vegetationsbedingungen.

Fünfter Abschnitt

[illegible]tige Vegetationsbedingungen.

Vierundzwanzigste Vorlesung.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. — Abhängigkeit des Pflanzenlebens von Wärmeverhältnissen.

Wir haben in unsern bisherigen Ausführungen ganz ausschliesslich die *Ernährungsbedingungen* der höheren chlorophyllhaltigen Pflanzenwelt ins Auge gefasst und dieselben in einem für unsern Zweck ausreichenden Maasse studiert. — Es interessiert uns jedoch nicht allein die im Laufe der hinter uns liegenden Vorlesungen gefundene Abhängigkeit des Gedeihens der Pflanzen von dem Vorhandensein einer *Reihe von Stoffen* und einer *Quelle von Arbeitskraft,* sondern ebenso die Abhängigkeit jener von *andern Bedingungen*, die nicht unter die eben genannten Kategorien zu bringen sind. Als eine solche weitere Vegetationsbedingung soll zunächst die *Wärme*, oder besser *das Vorhandensein einer gewissen Temperatur*, heute eine eingehendere Behandlung erfahren.

Wir wissen, dass zum Zustandekommen irgend einer beliebigen chemischen Reaktion immer eine gewisse Temperatur erforderlich ist. Manche chemischen Reaktionen können sich bei sehr verschiedenen Temperaturen vollziehen; aber in fast allen Fällen sind gewisse Grenztemperaturen vorhanden, deren Überschreiten den Eintritt einer Reaktion unmöglich macht. Das Überschreiten einer gewissen Schwingungsgrösse von seiten der Moleküle einer Substanz — so müssen wir uns die Sache denken — verhindert das Zustandekommen einer neuen Gleichgewichtslage, ebenso wie die zu geringen Amplituden derselben u. s. f.

Die Lebenserscheinungen müssen, wenn wir anders nicht auf deren endliche Begreiflichkeit und Erklärung Verzicht leisten wollen, sich auf *chemische Reaktionen oder physikalische Prozesse zurückführen lassen*, und da kann es uns also nicht wunder nehmen, wenn wir auch hier auf eine Abhängigkeit der einzelnen physiologischen Erscheinungen von der Temperatur stossen und somit finden, dass der ganze Lebensprozess darauf angewiesen ist, sich zwischen gewissen Grenztemperaturen abzuwickeln, deren Überschreiten den physiologischen Vorgängen samt und sonders ein Ende macht oder, wie wir uns ausdrücken, *den Tod der Pflanze zur Folge hat.* — Der einzige Unterschied, der uns dabei auffällig erscheint, ist der, dass die physiologischen Prozesse und das ganze Leben eines Organismus *in viel engere Grenzen* auch der Temperaturen eingeschlossen sind, als dies die Erscheinungen der unorganischen Natur gemeinhin zu sein pflegen. Doch liegt darin nur eine Abweichung des Grades und nicht der Art.

Wir haben schon in einer der ersten Vorlesungen*), bei Besprechung jenes wichtigen physiologischen Prozesses der Produktion von organischer Substanz, darauf

*) p. 25.

aufmerksam gemacht, dass eine gewisse Temperatur notwendig eingehalten werden muss, damit er überhaupt von statten geht; und ein Gleiches hätten wir seither für alle Lebenserscheinungen, mit denen wir zu thun gehabt haben, wiederholen können und haben es auch da, wo es uns wichtig schien, gethan. Diese Abhängigkeit ist in der That ganz allgemein und gilt ebenso für das Gesamtleben eines Organismus wie für jeden einzelnen Lebensvorgang. *Ein jeder Organismus hat,* wenigstens soweit er gerade der Sitz von physiologischen Prozessen ist, *eine obere und untere Temperaturgrenze, über die hinausgehend er dem Lebensstillstande oder dem Tode verfällt.*

Der vorstehende Satz scheint zunächst insofern selbstverständlich zu sein, als es eben Temperaturgrade giebt, bei denen das Wasser, welches als ein konstituierender Bestandteil aller Organismen angesehen werden musste, den tropfbar flüssigen Zustand verlässt und damit natürlich unfähig wird, seine Funktion in der Pflanze zu vollziehen; als es weiter Temperaturen giebt, wo die organische Substanz, aus welcher der Leib der Organismen aufgebaut ist, zerstört wird, in weniger komplizierte Verbindungen zerfällt u. s. f. Von diesen oberen Temperaturgrenzen ist jedoch in der Regel in den praktischen Fällen nicht die Rede. Die meisten Organismen gehen schon bei viel tiefer liegenden Temperaturen zu Grunde, und in diesem Sinne ist der ausgesprochene Satz durchaus nicht selbstverständlich, da es sich um ganz eigentümliche, für einen jeden Organismus spezifische und aus jenen Gesichtspunkten nicht herzuleitende Temperaturgrenzen handelt, deren Überschreiten die physiologischen Funktionen hemmt oder gar den Tod zur Folge hat.

Ebenso geht ein jeder der schon betrachteten Lebensvorgänge der Pflanzen, nicht bloss die Produktion der organischen Substanz, sondern ebenso die Protoplasmabewegung, die Bildung des Chlorophylls u. s. f., nur oberhalb und unterhalb gewisser Temperaturgrenzen von statten, und zwar sind diese Grenzen nicht bloss für diese einzelnen Vorgänge, sondern auch für die einzelnen Pflanzenarten im allgemeinen verschiedene. Als ein Beispiel für tausende mag gelten, dass die Protoplasmasrömung in den Fäden von Nitella syncarpa bei einer Temperatur des umgebenden Wassers von 0° C. aufhört, in den Haaren von Cucurbita Pepo schon bei einer Temperatur der umgebenden Luft von 10—11° C.*).

Diese Verschiedenheiten in dem Wärmebedarf verschiedener Arten sind freilich nichts sehr Konstantes, indem Züchtung oder Gewöhnung darauf einen nachweisbaren Einfluss hat, so zwar, dass im Norden kultivierte Gewächse nun auch im Süden mit weniger Wärmebedarf auskommen, resp. bei derselben Wärme mehr produzieren als andere. Hierauf beruht z. T. die Maassregel, Samen aus nördlichen Gegenden zu beziehen, die Züchtung des gegen Frost sehr unempfindlichen Moorroggens und dergleichen.

Über die Grenztemperatur der Keimungen liegen für verschiedene Pflanzen ausgedehntere Untersuchungen vor**), von deren Resultaten schon wegen ihres hohen praktischen Interesses hier einiges mitgeteilt sei.

*) Siehe Sachs: Handb. d. Experimental-Physiologie d. Pflanzen, 1864, p. 65.

**) Vergl. Sachs: Jahresber. f. Agrikulturchem., 1859—60, p. 93.

Bohne	9,4°—43,7° C.	Gerste	5°—40° C.
Pferdebohne	6,1°—40° „	Wasserrübe	5°—46° „
Erbse	6,8°—38,7° „	Kresse	5°—46° „
Mais	9,2°—46° „	Sonnenrose	7,1°—40° „
Weizen	5°—40° „	Kürbis	12,5°—46° „.

Übrigens keimen einzelne Samen, wenn auch ausserordentlich langsam, schon bei einer Temperatur von 1° C., so Ahorn, Senf, Leindotter und verschiedene Kleearten. Die allerersten Stadien der Keimung stellen sich auch bei Roggen, Hanf, Wicke und Erbse ein (Haberlandt)*). Die in der Tabelle angeführten Minimaltemperaturen haben also nur Beziehung auf eine rasche Keimung, die nach wenigen Tagen in die Augen fällt.

Dies mag genügen, um die Abhängigkeit *einzelner* Lebenserscheinungen von Grenztemperaturen deutlich zu machen. — Allein man kann noch in einer andern Weise die Abhängigkeit dieser Vorgänge von Wärmeverhältnissen konstatieren, insofern nämlich dieselben innerhalb jener Grenztemperaturen natürlich nicht überall mit gleicher Intensität verlaufen und man die *Relation zwischen der Temperatur und dieser Intensität* ermitteln kann.

An Beobachtungsmaterial liegt in dieser Richtung vor: Einiges über die Intensität der Chlorophyllbildung (Ergrünen des noch ungefärbten Protoplasmas), der Protoplasmaströmung und des Wachstums, sowie der Atmung — von Vorgängen, welche zum Teil eine mehr oder minder genaue Messung oder Schätzung gestatten. Aus diesem ergiebt sich, dass Chlorophyllbildung innerhalb der Temperaturgrenzen beim Ansteigen der Temperatur mit verhältnismässig grosser Raschheit fortschreitet. — Es zeigt sich weiter in gleicher Weise für die Protoplasmaströmung, dass hier ebenso für jeden Temperaturzuwachs eine Beschleunigung der Bewegung, wenn auch keine für jeden Zuwachs gleichförmige Beschleunigung, zu konstatieren ist, bis zu einer der Abtötungstemperatur der Pflanze nicht mehr fern liegenden Temperaturgrenze bei etwa 37—45° C., bei welcher das bis dahin rasch strömende Protoplasma beinahe plötzlich still steht**).

Für die Wachstumserscheinungen***) oder besser gesagt die Streckungserscheinungen — denn man hat sein Augenmerk bisher allzu ausschliesslich auf das Längenwachstum gerichtet — wurde ein etwas abweichendes Verhalten wahr-

*) Über Keimen bei verschiedenen Temperaturen vergl. Haberlandt: Landw. Versuchsst., B. 17, p. 104; u. Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1876, Mai. Über langsames Wachsen vergl. auch Naturforscher, 1884, p. 304. Über Keimung im Eise vergl. Uloth: Flora, 1875, p. 266.

**) Nägeli: Beitr., II, p. 77, u. namentlich W. Velten: Flora, 1876, Nr. 12—14.

***) Bei Versuchen über das Wachstum eines Organs ist der Umstand zu berücksichtigen, dass die Wachstumserscheinung kein einfach physiologischer Vorgang, sondern abhängig von einem morphologischen Gesetze ist. Dies ist am leichtesten daraus ersichtlich, dass die Grösse des Wachstums irgend eines Organs bei gleicher Ernährung und völliger Gleichheit der übrigen äusseren Bedingungen dennoch niemals dauernd proportional der Zeit fortschreitet, also ein neuer Zuwachs eines Organs in seiner Grösse gleichsam bedingt wird durch das schon vorhandene Stück. Wir unterscheiden diese aus inneren Gründen erfolgenden Wachstumsdifferenzen in ihrer Gesamtheit als „grosse Periode des Wachstums“.

genommen. Dieselben steigern sich nicht stetig bis zu den oberen Temperaturgrenzen, sondern es giebt für eine jede Wachstumserscheinung eine mittlere Temperatur, bei der dieselbe am grössten ist; und von diesem Punkte aus erleidet die Wachstumskurve, welche man durch Aufzeichnung der einzelnen Wachstumsintensitäten konstruieren kann, einen anfangs schwachen, dann stärker und stärker werdenden Abfall nach beiden Seiten. So sind, um auf Beispiele einzugehen, die gemessenen Wurzellängen von Weizenkeimlingen am grössten bei einer Entwicklung bei etwa 29 ° C., von Maiskeimlingen bei etwa 32 ° C. Diesseits und jenseits dieser Temperatur ist ein Abfall bemerklich, der jedoch wie bei allen physiologischen Kurven der Temperatur nach der Seite des Maximums stärker ist. Ähnliche Verhältnisse wurden für das Wachstum der Keimknospe festgestellt und treten auch hierbei deutliche Unterschiede im Temperaturbedarf für verschiedene Pflanzenarten auf. Während z. B. die Streckung der Keimknospe des Mais bei 27 ° ein Maximum erreicht, scheint dieses für die Plumula der Erbse bei 21 ° zu liegen, und erleidet die Wachstumskurve der letzteren nach beiden Seiten einen raschen Abfall*). — Die Atmungsintensitäten steigen bis zu sehr hoch liegender Temperatur annähernd proportional mit diesen, und es scheinen nach den bis dahin vorliegenden Untersuchungen**) die Optima nahe den Abtötungstemperaturen zu liegen — also ein ähnliches Verhalten, wie es für die Protoplasmabewegungen angedeutet ist. — Endlich ist auch gezeigt worden, dass die Sauerstoffabscheidung aus grünen Pflanzenteilen bis zu einem gewissen Temperaturgrad steigt, um jenseits desselben wieder abzunehmen***).

In dieser Weise ist ein jeder Vegetationsvorgang, wie er die Erfüllung einer Reihe von anderen Bedingungen voraussetzt, auch an gewisse Temperaturen geknüpft und häufig in keiner ganz einfachen Weise von denselben abhängig, so dass das Angeben der Grenztemperaturen eines Vorgangs noch nicht genügt, um die ganze Abhängigkeit kennen zu lernen. Freilich bleiben diese für uns von besonderer Wichtigkeit.

Manche Pflanzen sind sehr hart gegen niedrige Temperaturen, so dass sie sogar diejenigen Lebensprozesse, zu denen verhältnismässig die höchsten Temperaturen erforderlich sind, unter dem Schnee, also bei einer Temperatur, die 0 ° höchstens um den geringen Betrag der Eigenwärme übersteigen kann, vollziehen. So blüht z. B. Soldanella alpina unter dem Schnee, eine kleine Höhlung um sich bildend. Andererseits bedürfen eine Menge Pflanzen 20 ° C. und mehr, um zur Blüte zu gelangen.

Die besprochene Sistierung der Lebenserscheinungen bei Überschreitung jener Grenztemperaturen ist indes noch keine wirkliche Tötung; zu dieser ist das Überschreiten von etwas weiteren Temperaturgrenzen oder das längere Verweilen ausserhalb jener engeren Grenzen notwendig†). Dieser Satz gilt namentlich für die pflanzlichen

*) Die Angaben über diesen Gegenstand sind noch unvollkommen. Vergl. übrigens Sachs: Lehrb. d. Botanik, 3. Aufl.

**) v. Wolkoff u. Ad. Mayer: Landw. Jahrb., 1874, H. 4.

***) Vergl. Heinrich: Landw. Versuchsst., 1870, p. 144, u. p. 25 dieser Vorlesungen.

†) Vergl. Heinrich: A. a. O., p. 148.

Organismen, die überhaupt im allgemeinen den äussern Einflüssen gegenüber sich widerstandsfähiger erweisen als die tierischen. — Es hängt dieser auffallende Unterschied jedenfalls mit der geringeren Energie zusammen, mit welcher sich die pflanzlichen Funktionen zu vollziehen pflegen. — Die Pflanzen sterben nicht so rasch den Hungertod als die Tiere wegen ihres geringen Nährstoffbedarfs; sie ersticken bei Sauerstoffabschluss auch nicht so rasch wie jene wegen ihrer schwächeren Atmung; ihr Leib kann auch leichter das Überschreiten einer Temperatur ertragen, welches die für das Leben charakteristischen Erscheinungen völlig aufhebt, und verharrt so in einer Art Scheintod, um bei rechtzeitiger Herstellung der günstigeren Bedingungen ungestört das unterbrochene Leben fortzusetzen.

Ich habe gesagt, dass dieser bei eingehender Betrachtung immer auffälliger werdende Unterschied jedenfalls mit der geringeren Lebensenergie der Pflanzen zusammenhänge, die schon daraus ersichtlich ist, dass die Pflanzen nur in seltenen Fällen durch jene Verbrennung ihres eigenen Leibes, die wir Atmung nennen, sich bis zu einer merklich höheren Temperatur als der der umgebenden Medien erwärmen, während für die vollkommeneren mit grosser Lebensenergie ausgestatteten Tiere die sehr bedeutend erhöhte und dabei selbständige Temperatur ihres Körpers etwas durchaus Charakteristisches ist. — Ganz dasselbe ergiebt sich aber auch aus der schon angedeuteten Mitteilung, dass die Pflanzen und die Pflanzenteile *um so empfindlicher gegen Temperaturveränderungen sind, mit um je grösserer Energie sich Lebensprozesse in ihnen vollziehen.* Gerade die Zustände, in denen die Pflanzen in Bezug auf Temperatur-Erhöhungen oder Erniedrigungen Erstaunliches aushalten können, sind die der Ruhe, wo keine Protoplasmabewegung, keine bemerkenswerte Atmung in ihnen stattfindet. Die so sich ergebenden Andeutungen werden wir sehr bald bestätigt finden.

Wir wollen nun von dem Absterben des ganzen Pflanzenorganismus infolge der Überschreitung der resp. Temperaturgrenzen reden.

Der Tod infolge zu niedriger Temperaturen heisst für die Pflanzen wie für alle Organismen: Das *Erfrieren.* In Bezug auf das Erfrieren der Pflanzen ist in den Kreisen der Landwirte noch vielfach eine Sage im Umlauf, die zwar wissenschaftlich seit längerer Zeit widerlegt ist, sich aber doch noch einer nur langsam schwindenden Verbreitung erfreut*). Diese besteht in einer auf den ersten Blick ziemlich plausiblen Erklärungsweise, welche als Ursache des Erfrierens der Pflanzen eine rein physikalische Erscheinung giebt, dem Erfahrungssatze aber, dass alle Lebensvorgänge in enge (uns zunächst noch unverständliche) Temperaturgrenzen eingeschlossen sind, keine Rechnung trägt. Diese populäre Meinung denkt sich das Erfrieren der Pflanzen als infolge der Ausdehnung durch die Eisbildung in den Zellen vorsichgehend. Ähnlich wie das Wasser durch Ausdehnung beim Gefrieren verschlossene Flaschen und sogar Bomben zu sprengen vermag, so soll auch die zarte Pflanzenzelle durch Eisbildung auseinandergerissen werden; und nach

*) Dieselbe wurde noch von Boussingault (Agronomie etc., T. III, 1864, p. 40) vorgetragen, ist indessen schon sehr alt, indem schon Bonnet (Unters. ü. d. Nutzen d. Blätter, 1762, p. 40) dieser Erklärungsweise als einer längst erwiesenen Sache erwähnt.

dieser Vorstellung erscheint der Tod einer also maltraitierten Pflanze nicht mehr wunderbar.

Man neigte sich dieser grob sinnlichen, erst durch Nägeli und andere Physiologen der neuesten Zeit widerlegten Vorstellung um so lieber zu, als bei den Tieren keine Beobachtung vorlag über das Verhalten derselben niedrigen Temperaturen gegenüber, aus der man hätte Belehrung ziehen können. — Die Tiere sind zwar, wie ich erst vorhin hervorgehoben habe, im allgemeinen sehr empfindlich gegen eine Veränderung ihrer Körpertemperatur; aber sie besitzen — und darin liegt die Ursache für den Mangel jeder Analogie — grossenteils eine hier nicht zu erörternde Vorrichtung, die ihnen gestattet, ihre Wärmeproduktion nach den äussern Umständen zu regulieren, und dies gilt gerade für die Klassen, die jene Empfindlichkeit gegen Temperaturveränderung ihres eigenen Leibes im höchsten Grade zeigen. Bekanntlich können namentlich die sog. warmblütigen Tiere bei sehr verschiedenen Temperaturen der äusseren Medien ausdauern, ohne ihre Körpertemperatur erheblich zu ändern.

Die Pflanzen dagegen besitzen nur in den Verdunstungserscheinungen einen sehr wenig vollkommenen Regulator, welcher sich nur bei höheren Temperaturen in wirksamer Weise durch Wärmeverluste, die er veranlasst, geltend macht, und vermögen bei starker Erkältung der äusseren Umgebung — von einigen in der nächtlichen Periode stattfindenden Gestaltsveränderungen abgesehen, infolge deren sich die Ausstrahlung vermindert — auf keine Weise ihren Leib warm zu erhalten. Dieselben atmen eben mit steigender Temperatur rascher, ähnlich wie ein organischer Verbrennungsprozess unter gewöhnlichen Umständen durch Wärme gesteigert wird, während das Tier, mittelst der grossen und mit Abnahme der äusseren Temperatur steigenden Wärmemengen, die es durch physiologische Prozesse erzeugt, auch bei ausserordentlich niedrigen Temperaturgraden — ist nur der Pelz dick und infolgedessen der Wärmeverlust nach aussen langsam genug — sich mit leichter Mühe erhält.

Diese Andeutung wird genügen, um jedermann klar zu machen, warum die Tiere, trotz jener ausserordentlichen und viel grösseren Empfindlichkeit gegen Temperaturerniedrigungen ihres eigenen Leibes, doch nicht so leicht und jedenfalls unter ganz andern Umständen erfrieren wie die Pflanzen. Ich habe dies abweichende Verhalten hervorgehoben, um zu zeigen, dass, als man bei den Pflanzen an die Erklärung der Erscheinung des Erfrierens ging, es an einer brauchbaren Analogie aus dem Tierreiche fehlte; und damit hängt es denn zusammen, dass man für jene Erklärung zu einem rein *physikalischen* Grunde greifen zu müssen glaubte.

Man gab also als Erklärung des Erfrierens der Pflanzen die *Eisbildung* in den Zellen an, und diese fassliche Erklärung hatte auch noch die weitere Wahrscheinlichkeit für sich, dass ja augenscheinlich in denselben Nächten viele Pflanzen durch Erfrieren zu Grunde gehen, wo wir auch Eisbildung wahrnehmen, und die meisten Pflanzenteile, die nach dem Auftauen sich als tot erweisen, während des Frostes steifgefroren erscheinen.

Bei etwas konsequenterem Nachdenken hätten freilich auch die Schwächen dieser Erklärungsweise nicht verborgen bleiben können. Berücksichtigt man nämlich die

auch einer nur sehr oberflächlichen Beobachtung sich aufdrängende Thatsache, dass nicht alle Pflanzen bei derselben Temperatur, dass selbst die verschiedenen Organe einer und derselben Pflanze bei ganz verschiedenen Temperaturen erfrieren, dass z. B. der Kohl, das Rübenkraut, das Gras und auch die meisten fruchttragenden Gramineen auf unsern Feldern verhältnismässig grosse Kälte auszuhalten im stande sind, während die jungen Triebe und Knospen der meisten unserer Bäume schon bei höheren Temperaturgraden zu Grunde gehen, dass ferner die Zellhaut elastisch ist und selbst erheblichen Ausdehnungen recht gut widersteht, so muss man zur Einsicht gelangen, dass jene Annahme eigentlich nichts erklärt. Man müsste denn gerade behaupten, dass in dem ersteren Falle die resp. Zellsäfte so viel konzentrierter seien, dass ein Erstarren erst bei viel niedrigeren Temperaturgraden eintreten könne — eine Ausflucht indessen, die keine schärfere Beleuchtung erträgt.

Es muss ferner jedem aufmerksamen Beobachtenden sogleich auffallen, dass ja in der Natur noch viel grössere Unterschiede bestehen als die eben erwähnten. Man denke nur an die zarten Bewohner unserer Treibhäuser, jene südlichen Gewächse, die erst Mitte Mai ihre warmen Räume verlassen, um schon anfangs Oktober in dieselben zurückzukehren, und man vergleiche mit ihnen unsere Nadelhölzer, deren grünen Organe sogar unsere volle Winterkälte von vielen Graden unter Null ohne Schaden ertragen, oder gar die grönländische Vegetation — und man wird zugeben, dass jener populäre Erklärungsversuch schon aus diesem Gesichtspunkte unzulässig ist*).

Je weiter wir um uns blicken, um so mehr häufen sich die Thatsachen, welche unsere letztgefasste Meinung bestätigen. Es giebt thatsächlich Pflanzen in grosser Anzahl in der kälteren und der gemässigten Zone, die in einer Weise gefrieren, dass ihre Säfte zu Eis erstarren, und die selbst ganz hart und steif sind und gleichwohl nach dem Auftauen fortwachsen und gedeihen, als ob nichts geschehen wäre.

Bevor wir uns selber mit den neueren Erklärungsversuchen beschäftigen, werden wir gut thun, zunächst die Thatsachen über das Erfrieren zu sammeln und zu sichten.

Das Absterben von Pflanzenteilen infolge zu grosser Temperaturerniedrigung charakterisiert sich durch die folgenden Symptome:

Tiefgreifende Veränderung des Protoplasmas und der früheren endosmotischen Eigenschaften. Die saftigen Zellen verlieren die Fähigkeit zu strotzen, d. h. die Zellwandung (Protoplasmaüberzug und Zellwand) widersteht nicht mehr dem Druck des Zellsafts, sie lässt denselben selbst bei geringer Pression durchfiltrieren. Die Eigenschaften der Membranen der Osmose gegenüber sind total verändert, so dass selbst Colloïde hindurchgehen. Daher füllen sich die Intercellularräume mit Säften, das Gewebe wird durchscheinend. Die teilweise Entleerung der Zellen, die ungehinderte Verdunstung, die unterbrochene Saftströmung machen diese schlaff, das erfrorene Organ verliert seinen Turgor und hängt herab. Die Vermischung der nun nicht mehr getrennten Säfte verschiedener Zellen, das Eindringen der Luft bewirkt

*) Unter anderen hat Haberlandt diese Meinung widerlegt. Vergl. Jahresber. für Agrikulturchemie, 1861—62, p. 151.

rasche Zersetzung, begleitet von Farbenveränderung. Das erfrorene Gewebe vertrocknet*).

So ist z. B. das Erfrorensein bei Stücken von roten Runkelrüben leicht daran zu erkennen, dass dieselben ihren roten Saft an Wasser, in das man sie gelegt, abgeben, während im einem lebenden Zellenkomplex der osmotische Widerstand der Zellenwandung (in jenem weitern Sinne) viel zu bedeutend ist, um dies zu gestatten. Ebenso gestattet auch die peripherische Schicht des erfrorenen Protoplasmas gelösten Farbstoffen Eingang in sein Inneres, was wiederum auf eine Veränderung in der Anordnung der konstituierenden Theilchen desselben schliessen lässt**).

Durch ein solches Feststellen der Symptome der Erscheinung des Erfrierens ist nun aber noch keine Erklärung für diese gegeben; wohl aber hat diese an jene anzuknüpfen. Auch das Studium des Gefrierens organischer oder nicht organisierter Flüssigkeiten kann Bausteine liefern für eine solche. J. Sachs liess Stärkekleister gefrieren und wieder auftauen und fand, dass die so erhaltene Masse durchaus keinem Kleister mehr ähnlich war, vielmehr eine „grobporige, schwammige“ Substanz darstellte, aus welcher sich das Wasser leicht ausdrücken liess. Ganz ähnlich verhielt sich Hühnereiweiss, das aus dem Ei herausgenommen, durch Erwärmen zum Gerinnen gebracht worden war und welches in diesem Zustande dem Froste ausgesetzt wurde. Auch hier resultierte nach dem Auftauen eine schwammige Masse, die beim Drücken leicht viel Wasser abgab.

Derartige Versuche zeigen jedenfalls, dass das wirkliche Erstarren durch Kälte auch bei wasserhaltigen organischen Substanzen, die nicht mehr als hoch organisiert betrachtet werden können, tiefgreifende Änderungen herbeiführt, — Änderungen, die es beim wiedererfolgenden Auftauen unmöglich machen, dass die kleinsten Teilchen ihre vormalige Gleichgewichtslage wiederfinden; und insofern mag für manche Symptome, die wir nach dem Auftauen hartgefrorener und erfrorener Pflanzenteile vorfinden, in diesen Versuchen ein Anhaltspunkt liegen.

Ferner ist als wichtige Thatsache zu erwähnen, dass — worüber man lange zweifelhaft war — keine Pflanze erfriert bei Temperaturen, wobei keine Eisbildung im Innern derselben möglich wäre, d. h. über Null oder genau bei Null, und wenn die sogenannten Warmhauspflanzen in dem doch immerhin frostfreien Kalthause nicht gedeihen können, so liegt dies nicht an der Gefahr des Erfrierens***), sondern daran, dass sie für alle ihre wichtigsten Lebensvorrichtungen höhere Temperaturen nötig haben; und demgemäss ist ihr Zugrundegehen im Kalthause auch kein plötzlicher Tod, sondern ein langsames Dahinsiechen, ähnlich wie das der Melone auf

*) J. Sachs: Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, p. 57.

**) Vergl. auch G. Haberlandt: Österr. botan. Zeitschr., 1876, Heft 8, wo die Frostveränderungen für chlorophyllhaltige Zellen näher beschrieben werden.

***) Vergl. hierüber de Vries: Archiv. néerland., T. V, 1870. Auch der Verfasser hat gelegentlich seiner Untersuchungen über die Mosaïkkrankheit der Tabakpflanze mit dieser doch gewiss frostempfindlichen Pflanze Versuche angestellt, wobei die Blätter derselben mit einem Gemenge von Wasser und Eis in Berührung waren, und sodann die auf den Nullpunkt abgekühlten Pflanzen plötzlich der Bestrahlung durch die Sonne ausgesetzt, ohne einen nachteiligen Einfluss zu beobachten.

freiem Felde oder in rauher Lage. Dass auch härtere Pflanzen häufig erfrieren in Nächten, wo die Luft sich nicht bis unter Null abkühlt, ist später zu erklären aus dem gleichen Gesichtspunkte wie die Reifbildung.

Man wollte ferner beobachtet haben, dass es häufig auf die Art ankommt, wie die nachherige Erwärmung eintritt, ob eine Pflanze durch eine niedrige Temperatur wirklich getötet wird oder nicht. Namentlich an unsern einheimischen und den Kulturgewächsen wurden derartige Beobachtungen gemacht.

Wenn man Pflanzen, welche in kalten Nächten hartgefroren sind, mit eiskaltem Wasser begiesst, so dass dieses an ihnen festfriert, eine Bekleidung von Eis um sie herum bildend, und dann die so behandelten Pflanzen nach und nach mit grosser Vorsicht erwärmt, so kann man sie hierdurch angeblich in vielen Fällen vor dem Tode schützen. In diesem Falle *verhindert* offenbar das langsame Auftauen einer grösseren Eismasse *das rasche Ansteigen der Temperatur* des dieser Manipulation unterworfenen Gewächses.

Es giebt nach älteren Autoren eine ganze Reihe gärtnerischer Regeln, die genau auf derselben Thatsache, der Schädlichkeit einer raschen Temperaturerhöhung gefrorener Pflanzen, beruhen. So werfen wohl die Gärtner gefrorene Krautköpfe und dergleichen auf einen Haufen zusammen oder legen sie in eiskaltes Wasser — beides augenscheinlich zu demselben Zweck, um plötzliche Temperatursteigerungen, die unter gewöhnlichen Umständen z. B. durch einen Sonnenblick eintreten könnten, so durch die grosse Masse des zu Erwärmenden zu verhindern.

Es wurden auch sonst noch Beobachtungen mitgeteilt, die das Gleiche zu lehren scheinen. Fasst man im Freien gefrorene empfindliche Blätter nur einen Augenblick mit den warmen Fingern an, so geht gerade diese Stelle, an der natürlich ein Auftauen und eine rasche Temperaturerhöhung eintritt, unfehlbar zu Grunde, während das ganze übrige Blatt gerettet werden kann und unter den meisten Umständen, sich selbst überlassen, thatsächlich gerettet wird.

Wesentlich diese Thatsachen im Auge haltend, gelangte man geradezu zu dem Satze: *Die Pflanzen erfrieren nicht durch das Gefrieren, sondern durch das Auftauen und zwar durch zu rasches Auftauen**). Dieser Satz ist aber, wie wir gleich sehen werden, durch spätere exakte Versuche sehr in Frage gestellt worden.

Mit diesem Satze in Übereinstimmung schien aber noch die Beobachtung zu stehen, dass die in der Erde befindlichen Wurzeln einer Pflanze auch im hartgefrorenen Boden nur selten erfrieren, da sie vor raschem Auftauen durch die Masse und die erhebliche spezifische Wärme des Bodens geschützt sind, ferner, dass gefrorene Pflanzenteile an klaren Tagen, wo sie noch völlig starr von der Sonne getroffen rasch tauen und sich erwärmen, am leichtesten absterben.

Dass übrigens jener Satz nicht frei war von Übertreibung, ist schon deutlich durch die Thatsache, dass es ausser jenem relativen Erfrieren, das lediglich durch rasches Auftauen bewirkt wird, auch ein *wirkliches Erfrieren* giebt, das, gleichviel in welcher Weise man die Wiedererwärmung vornimmt, durch eine gewisse Minimal-

*) Sachs: Landw. Versuchsst., 1860, p. 167, u. gesammelte Abhandl., I, p. 3.

temperatur, welche die Pflanze eben unter keinerlei Umständen zu ertragen vermag, bewirkt wird. Man hat an unsern heimischen Pflanzen die Erfahrung gemacht, dass es auch für diejenigen, welche steifgefroren angeblich durch vorsichtige Behandlung wieder zum Leben erweckt werden können, dennoch eine Temperaturgrenze giebt, unter welche gebracht, sie durch keine Mittel mehr gerettet werden können und als absolut erfroren betrachtet werden müssen. Eine ganz ähnliche Erscheinung ist auch die, dass manche Pflanzen, mit denen man Versuche anstellte, wohl ein einmaliges Gefrieren, nicht aber ein *wiederholtes* ertragen konnten*).

Sehr wichtige Thatsachen über das Gefrieren sind in jüngster Zeit von Müller-Thurgau**) beigebracht und hierdurch sind die älteren Anschauungen über die Ursache des Erfrierens nicht unwesentlich modifiziert worden. Vor allem wurde durch denselben mit grösster Evidenz festgestellt, dass die Eisbildung in gefrorenen Pflanzenteilen nicht statthat in den Zellen selber, sondern dass sie (und zwar in charakteristischen Formen) beginnt in den Intercellularräumen und dass die linsenförmigen, aus reinem Wasser bestehenden Eiskörper anwachsen auf Kosten des Zellsaftes und in der Richtung des kleinsten Widerstands. Zerreissungen von Zellen können dabei stattfinden, zumal wenn die Eisbildung eine quantitativ erhebliche ist. Dies ist aber keineswegs die gewöhnliche Ursache des Todes der Pflanzenteile; denn auch mechanisch unverletzte Gewebe können dem Froste erliegen.

Eine andere Beobachtung, die viel zur Klärung der Erscheinung beiträgt, ist die einer „Überkältung" stark abgekühlter Pflanzenteile, d. i. die Fähigkeit erheblich (bis 6°) kälter zu werden als ihr eigentlicher Gefrierpunkt, welcher letztere je nach der Lebensenergie und der Trockenheit des Gewebes zwischen —2° und —0,5° zu liegen pflegt, ohne dass vorläufig noch Eisbildung im Innern der Pflanze eintritt. Ist dann endlich unter dauernder Abkühlung der Überkältungspunkt erreicht (gewöhnlich zwischen —4° und —7°), dann erfolgt natürlich rapide Eisbildung unter plötzlicher Erhebung der Temperatur bis auf den eigentlichen Gefrierpunkt. Eine erhebliche Überkältung unter den letzteren tritt aber nicht ein, wenn das Pflanzengewebe äusserlich beschädigt ist, z. B. bei einer geschälten Kartoffel. Hier beginnt sogleich das Gefrieren bei dem wirklichen Gefrierpunkt ihres Gewebes (—1°) und die Temperatur sinkt bei genügend kalter Umgebung von da aus langsam, weil sich die Zellsäfte durch Lieferung ihres Wassers an die Eislinsen in den Intercellularräumen konzentrieren. Diese Eigenschaft nun, welche bei unverletzten Pflanzen häufig eine erhebliche Abkühlung unter den Gefrierpunkt des Wassers und selbst unter den ihrer eigenen Säfte gestattet, erklärt bei manchen Pflanzen die Widerstandsfähigkeit gegen das Erfrieren, und da dieser Gefrierpunkt selber tiefer liegt im trockenen Gewebe, so erklärt sich daraus die enorme Widerstandsfähigkeit verhältnismässig wasserarmer Pflanzen gegen Frost***), eine Erfahrung, die nicht im

*) Einige nicht unwichtige Bemerkungen über denselben Gegenstand bei A. W. v. Babo: Weinlaube, 1873, Nr. 11.

**) Landw. Jahrb., 1880, p. 133.

***) Ich habe hiervon im April 1884 ein sehr merkwürdiges Beispiel gesehen, wo nach einer langen trockenen Periode selbst entwickelte Kirschblüten einer Kälte trotzten von

Widerspruch steht mit jener anderen, dass feuchte Luft dem nächtlichen Erfrieren ungünstig ist, und auch nicht mit jener, dass sehr wasserhaltige Gewebe weniger durch die Folgen eines teilweisen Gefrorenseins zu leiden haben.

Auch nach den Müller'schen Untersuchungen tritt der Erfrierungstod nicht schlechterdings ein durch Eisbildung in der Pflanze, obwohl, wenn er eintritt, während oder besser infolge derselben. Das plötzliche Herausreissen von viel Wasser aus dem Protoplasma wird nach wie vor als die plausibelste Ursache gelten müssen, aber auf das langsame Auftauen nicht mehr ein so grosses Gewicht zu legen sein.

In einer neueren sehr ausführlichen Untersuchung*) desselben Autors werden nämlich viele experimentellen Daten angeführt, nach welchen eine langsame, bis auf 24 Stunden hinaus verringerte Erwärmung bis auf den Nullpunkt genau dieselben Folgen hatte wie ein ganz plötzliches Auftauen.

Dass in Bezug auf die Empfindlichkeit gegen Frost Unterschiede nach der Art und der Entwicklungsperiode**) vorhanden sind, muss erklärt werden aus der Konstitution der durch Ausfrieren von Wasser konzentrierten Zellsäfte, die in manchen Fällen den Zwecken des Organismus feindliche Reaktionen zeigen werden, und aus dergl. Gesichtspunkten mehr. Dass tiefere Temperaturen sonst wenig empfindlicheren Pflanzen gefährlicher werden als höhere, die doch schon Eisbildung herbeiführten, erklärt sich leicht aus demselben Gesichtspunkte aus der grösseren Konzentration der Zellsäfte bei vollständigerer Eisbildung. Durch Berücksichtigung der Verletzungen, welche infolge des Gefrierens entstehen können, erklärt sich auch die früher befremdlich scheinende schon erwähnte Thatsache, dass ein wiederholtes Ge-

beinahe —6°. Details über diesen Frost wurden von Beijerinck beschrieben in Nieuwe Landbouw Courant, 31. Mei, 84. Daselbst auch merkwürdige Beobachtungen über das Erfrieren von Oberseiten von Blättern, deren Unterseite erhalten blieb.

*) Landw. Jahrb., 1886, p. 453 u. namentlich 524 u. f. Wie Sachs in seinen freilich nur unvollkommen beschriebenen Versuchen (Ber. d. math.-phys. Klasse d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., 1860) zu den entgegengesetzten Resultaten kommen konnte, bleibt dabei ein Rätsel; aber offenbar hat er auf eine damals schon in gärtnerischen Kreisen herrschende, ursprünglich von Du Hamel (1758) herrührende Anschauung einen übertriebenen Wert gelegt, sich dabei das Experiment leicht gemacht und als Versuchsresultat dargestellt, was ihm schon vorher festzustehen schien. Dem Botaniker Göppert kommt das Verdienst zu, ungeblendet durch die glänzende Dialektik des Würzburger Physiologen, auf Grund seiner eigenen vielfältigen Erfahrung an dem entgegengesetzten jetzt durch Müller bestätigten Ergebnisse festgehalten zu haben.

**) Die Erniedrigung des Gefrierpunktes ist bei Kohlenhydraten, den Hauptinhaltsstoffen des Zellsaftes, wie die einschlagenden Untersuchungen Raoul's, de Vries' u. a. lehren, um so grösser, je kleiner das Molkül derselben ist. Hat daher Spaltung von Kohlenhydraten statt, wie dies beim Keimungs- und Sprossungsprozess die Regel ist, so ist dadurch die Widerstandskraft solcher Pflanzenteile dem Gefrieren gegenüber vermehrt. Dies ist biologisch als ein kompensatorischer Prozess aufzufassen, wodurch die Frostschädigungen austreibender Pflanzenteile, die andererseits durch den mehr wässrigen Zustand, in den dieselben gelangen, stark begünstigt würden, teilweise verhindert werden. Dass diese Kompensation nur teilweise ist, lehrt die Thatsache der Zerstörung treibender Pflanzenteile, welche im Ruhezustand frostbeständig waren, durch die Frühjahrsfröste zur Genüge.

frieren einer Pflanze Gefahr bringen kann, während derselbe Zustand ein einziges Mal ertragen wurde*).

Ähnlich wie eine untere besitzen nun aber, wie gesagt, die Pflanzen eine obere Temperaturgrenze, bei deren Überschreiten sie zu Grunde gehen, und welche im allgemeinen nicht mit der Temperatur einer tiefgreifenden Veränderung eines konstituierenden Bestandteils dieser Organismen — etwa dem Kochpunkt des Wassers oder der Gerinnungstemperatur des Eiweiss' — zusammenfällt. Die über das Absterben der Pflanzen infolge zu starker Erhitzung bestehenden theoretischen Anschauungen sind denen über das Erfrieren daher sehr ähnlich.

Niedrige Pflanzen können in der Regel hohe Temperaturen ertragen, ohne in ihrer Vegetation gestört zu werden. Es liegen Angaben von Cohn**) vor, der im Karlsbader Sprudel bei 44°—54° C. Leptothrix lamellosa in voller Lebensthätigkeit fand. Lander-Lindsay giebt sogar an, auf Island in Wasser, das so heiss war, dass man in demselben Eier in 4—5 Minuten gar sieden konnte, lebende Conferven gefunden zu haben, und hiermit stimmt anscheinend Ehrenberg's Angabe, in den heissen Quellen auf Ischia, deren Temperatur 81°—85° C. beträgt, frisch vegetierende braune und grüne Filze von Oscillatorien und Eunotien gefunden zu haben, völlig überein. Indessen können leicht Täuschungen bei derartigen Beobachtungen stattfinden, da das Wasser warmer Quellen auf geringe Abstände sehr verschiedene Temperaturen zeigt. Und nach neueren Beobachtungen kommen Algen in warmem Wasser nur bis 54°, in feuchter Luft noch bei 10° höherer Temperatur fort (Hoppe-Seyler). Es bleiben aber immerhin Verschiedenheiten in der Widerstandsfähigkeit gegen extreme Temperaturen übrig, wenn man mit den eben gemachten Angaben vergleicht, dass unsere gewöhnlichen höheren Pflanzen, wie die meisten unserer Kulturgewächse, schon einer Temperatur von 51° C. erliegen, wenn sie nur 10 Minuten derselben ausgesetzt sind***). Dieselben sind teilweise erklärlich aus den im folgenden zu besprechenden Gesichtspunkten.

Einige allgemeinere Regeln über die Abhängigkeit der Pflanzen von der Temperatur hat man nämlich vermocht herauszufinden. Es ist hier zu nennen die wichtige Beobachtung, die wir schon erwähnt haben, dass Pflanzen und Pflanzenteile um so empfindlicher gegen Temperaturveränderungen sind, *je lebhaftere Vegetationsprozesse sich in ihnen vollziehen.* Alle zur Zeit ruhenden Organe, wie der Samen, die Sporen, die überwinternden Knospen und ebenso die Organe, die keiner Neubildung aus sich heraus fähig sind, können grosse Temperaturschwankungen ertragen, während die gekeimten Samen und Sporen, die in der Entfaltung begriffenen

*) Eine merkwürdige Abhängigkeit der Keimfähigkeit einiger Pflanzensamen von einer vorausgehenden Frostperiode wird behauptet, aber bleibt vorderhand unerklärt, ebenso wie ähnliche Erfahrungen in betreff der Eier von Seidenraupen. Vergl. Duclaux: Compt. rend., T. 72, 18. Aug. Vergl. auch Just: Naturforscher, 1878, p. 113.

**) Ich entnehme diese Angaben d. Landw.-Centralbl., 1868, II, p. 274. Ähnliche Mitteilungen von Blake: Americ. Journ. of Science, 72, Aug.; u. Naturforscher, 72, p. 368.

***) Vergl. übrigens die hohen Temperaturen, welche Askenasy für von der Sonne erwärmte Pflanzen gemessen hat: Bot. Zeitung, 1875, Nr. 27. Auch Giltay hat bei Dünenpflanzen auffallend hohe Temperaturen konstatiert. Nederl. Kruidk. Archief, 1886, p. 426.

Knospen, die der Neubildung fähige Cambiumschicht sehr empfindlich sind und in der Natur, namentlich leicht durch Frost, zu Grunde gehen. Diese Gesetzmässigkeit, die auch so ausgedrückt worden ist, dass die mit Wasser imbibierten Gewebe*) empfindlich gegen grosse Temperaturveränderungen seien, im Gegensatz zu den trockenen Geweben, kann durch sehr viele Beispiele belegt werden. So gehen gequollene Samen um so leichter durch Frost zu Grunde, je mehr Wasser sie bei der Quellung aufzunehmen pflegen, und mehrere ähnlichen Thatsachen haben wir schon vorhin kennen gelernt**). Noch treuer ist freilich die Erscheinung an den Vollzug von Wachstumserscheinungen gekettet, wie Versuche mit Abtötung durch Hitze lehren, wobei ein ganz lokales Absterben in der Zone des stärksten Wachstums eintreten kann.

Die Sporen einer Reihe von Pilzen, die in dieser Richtung untersucht worden sind, können in der Luft eine Temperatur von 120 ° C. mit voller Keimkraft überdauern, selbst wenn sie eine halbe Stunde in derselben verweilt haben, und gehen meistens erst bei einer längeren Erhitzung auf 130 ° C. zu Grunde, so dass man sagen kann, sie erliegen erst der beginnenden Zerstörung der organischen Substanz. Befeuchtet, in Wasser liegend oder gekeimt scheinen dieselben samt und sonders unter 80 ° C. ihre Lebensfähigkeit einzubüssen. Genau dasselbe Verhältnis zeigt sich bei den komplizierter gebauten Samen unserer höheren Gewächse. Nach Sachs***) können z. B. trockene Erbsen eine Stunde lang bei 69 ° C. ohne Einbusse ihrer Keimkraft verweilen, während dieselben nach 24stündiger Quellung schon bei 54 ° zu Grunde gehen, und Versuche mit dem Samen unserer Cerealien ergaben durchaus ähnliche Resultate. Nach Wiesner†) ertragen die trockenen Samen der Nadelhölzer 70 ° C. ohne Schaden; und künstliche Austrocknung begünstigt natürlich noch die Widerstandsfähigkeit in dieser Richtung, Thatsachen, welche wegen den üblichen Gewinnungsmethoden dieser Sämereien nicht ohne praktische Bedeutung sind. Dem Erhitzen im Wasser widerstehen am besten die schwer quellbaren Samen z. B. der Medicago-Arten, und der Eintritt oder Nichteintritt der Quellung ist überhaupt das Entscheidende für die Schädigung durch die Hitze wie auch durch Kälte††).

*) Dies war die Ausdrucksweise Decandolle's: „La faculté de chaque plante et de chaque partie d'une plante pour résister aux extrêmes de la température est en raison inverse de la quantité d'eau, qu'elle contient". Physiol., III, 1832, p. 1103. Wir haben früher auf den Wasserreichtum derjenigen Pflanzenteile, in denen sich lebhafte Vegetationsprozesse vollziehen, deutlich hingewiesen. Vergl. Vorles. 2, 7 u. 21.

**) Müller-Thurgau: a. a. O.; auch Haberlandt: Fühling's landw. Zeit., 1874, p. 504.

***) A. a. O., p. 66. Diese Thatsache wurde durch besondere Versuche an der Station zu Wageningen über das Töten des Bruchus pisi bestätigt.

†) Sitz.-Ber. d. Wiener Akad., Okt. 71, u. Landw. Versuchsst., 15, p. 297.

††) Kaum glaublich erschienen die von Pouchet (Compt. rend., T. 63, p. 939; Jahresb. der Agrikulturchemie, 1866, p. 137) mitgeteilten Thatsachen von der Widerstandsfähigkeit amerikanischer Medicagosamen gegen die Siedhitze, sind indessen von Nobbe bestätigt worden. Ähnliche Angaben bezüglich der Keimungsfähigkeit der Brombeer- und Himbeersamen haben sich als unrichtig erwiesen, vergl. Journ. f. Landw., 1870, Jahresber., p. 260. Vergl. auch Nobbe: Landw. Versuchsst., B. 15, p. 262; aber Stebler kochte den Samen der Vogelwicke viele Stunden lang, ohne deren Keimkraft zu nahe zu treten. Der Verfasser hat derartige Versuche mit den harten bei der Samenkontrolle restierenden Samen von Weissklee, selbst als Vorlesungsversuch, stets mit dem besten Erfolge wiederholt.

Genau dasselbe gilt bei Sporen und Samen für niedrige Temperaturen in einem Grade, dass sie im trockenen Zustand gar nicht erfrieren zu können scheinen*), während sie im gekeimten Zustand, wie die leicht anzustellende Beobachtung und der tägliche Augenschein lehren, teilweise sehr leicht durch Frost zu Grunde gehen. Ferner kann man sich in jedem Frühjahr davon überzeugen, dass die Knospen, welche sich den ganzen harten Winter hindurch an den perennierenden Gewächsen gefunden haben, ohne im geringsten durch den Frost zu leiden, jetzt bei ihrer Entfaltung und noch mehr nach ihrer Entfaltung von einer Empfindlichkeit gegen ein kleines Nachtfröstchen sind, dass wir in unserem Klima nur dieses Umstandes wegen das zu frühe Eintreten des Frühjahres, nach welchem dann Rückfälle in den Winter gewöhnlich sind, verwünschen. — Diese Beispiele vermögen genugsam die ausgesprochene Gesetzmässigkeit zu illustrieren.

Niedrige Gewächse wie Pilze und Bakterien sind übrigens selbst im vegetativen Zustande gegen Kälte verhältnismässig unempfindlich, was wohl auch mit den kleinen Dimensionen dieser Organismen im Zusammenhang stehen mag**). Ein praktisches Interesse hat von allen diesen Erscheinungen für uns wesentlich nur das Verhalten der höheren Gewächse bei niedriger Temperatur, da an ein Zugrundegehen derselben durch zu hohe Temperaturen unter natürlichen Verhältnissen nicht gedacht werden kann. Diese oberen Grenzen für gewisse niedrigen Organismen haben aber in neuerer Zeit praktische Bedeutung gewonnen, seitdem man die Appert'sche Methode allgemeiner anwendet und insbesondere die Pilzkrankheiten der Weine und das Sauerwerden der Milch durch Erhitzen derselben auf die entsprechenden Temperaturen (Pasteurisieren und Sterilisieren) bekämpft.

Fünfundzwanzigste Vorlesung.

Sonstige Vegetationsbedingungen der Pflanze. — Abhängigkeit von Wärmeverhältnissen in der Natur. — Bemerkungen.

Wir gehen in der heutigen Vorlesung nunmehr auf die Frage ein, inwieweit *das Pflanzenleben in der Natur von Wärmeverhältnissen abhängig ist*, und wir werden im Zusammenhang damit einige praktischen Mittel besprechen, um dasselbe gegen ungünstige Temperaturen zu schützen. Dass diese Abhängigkeit in der Wirklichkeit zur Geltung kommt, ergiebt der erste Blick auf die Verteilung der Pflanzen auf der Erdoberfläche, die ja fast ganz auf klimatische Verhältnisse — und diese sind ja überwiegend Wärmeverhältnisse — zurückgeführt werden kann. Wir wollen uns jedoch darauf beschränken, *von den Beziehungen der Vegetation zur Wärme an einem und demselben geographischen Orte zu reden.*

*) Boussingault hat (Agronomie etc., T. III, 1864, p. 3) Getreidesamen einer Temperatur von 100° C. unter 0 ausgesetzt, ohne dass dieselben ihre Keimkraft einbüssten.

**) Bei höheren Gewächsen ist auch die Frostempfindlichkeit grosszelliger Varietäten in die Augen fallend, aber noch nicht durch besonders dahin gerichtete Versuche erhärtet.

Der Wechsel der Bestrahlung irgend eines Ortes der Erde von seiten der Sonne, durch die Drehung der Erde, durch die schiefe Stellung der Erdachse zu ihrer Bahn, in Verbindung mit der Bewegung der Erde um die Sonne, veranlasst, ist bekanntlich die Ursache davon, dass die Temperatur an jedem Orte eine wechselnde und zwar mit einer Regelmässigkeit wechselnde ist, die nur durch die sekundären Wirkungen jener Bestrahlung (wie z. B. Wasser- und Luftströmungen) in erheblicher Weise gestört wird. Die angedeuteten Verhältnisse veranlassen, wie jeder Schüler weiss, den steten Wechsel von Tag und Nacht, von Sommer und Winter, und die Perioden, die wir Tag und Sommer nennen, sind bekanntlich wärmer als die, welche man Nacht und Winter nennt, wie diese auch lichtärmer sind als jene. Von diesen periodischen Wärmeverhältnissen ist die Pflanze natürlich vielfach abhängig.

Wir müssen zunächst darauf hinweisen, dass *die Abänderung der Wärmeverhältnisse* für die verschiedenen Zonen durch jenen periodischen Wechsel der Bestrahlung, ganz abgesehen von der höheren oder niederen mittleren Temperatur, *sehr ungleichmässig verläuft.* An den den Polen näher gelegenen Orten bedeutet der tägliche Wechsel zwischen Tag und Nacht verhältnismässig wenig, während der Unterschied zwischen Winter und Sommer ausserordentlich gross ist; ein Wintertag ist durchschnittlich kälter als eine Sommernacht. Je mehr man sich dem Äquator nähert, um so mehr verschwinden die jährlichen Unterschiede, und die Unterschiede zwischen Tag und Nacht*) werden (ausser in Tiefländern mit wassergesättigter schwer durchstrahlbarer Atmosphäre) wegen der grösseren Ausstrahlung gegen den freien Himmel erheblicher. Schon weit ausserhalb der Wendekreise wird in vielen Gegenden der Wintertag im Durchschnitt wärmer als die Sommernacht.

Aus diesem Verhalten folgt schon für die den Polen näher gelegenen Orte, dass der Wechsel der Jahreszeiten verhältnismässig grosse Veränderungen in den Vegetationsbedingungen herbeiführen muss, während unter den Tropen diese Gegensätze in Bezug auf Veränderung der Temperatur verschwindend klein werden, und dort nur insofern ein Einfluss der Jahreszeit auf das Pflanzenwachstum, wie auf die Lebensenergie der Tiere**) zu bemerken ist, als dieselbe feucht oder trocken ist, also durch das Vorhandensein einer ganz andern, nur in sekundären Beziehungen zu dem Lauf der Sonne stehenden, Lebensbedingung sich geltend macht.

So ist für die Verhältnisse der kalten und unserer gemässigten Zone, für welche der Temperaturunterschied zwischen Winter und Sommer in den Vordergrund tritt, je nach der Jahreszeit die Temperatur, welche den Pflanzen zu Gebote steht, sehr erheblich verschieden, und so sehen wir eine Vegetation vor uns, die sich fast ganz an diese gegebenen Verhältnisse in der Weise angepasst hat, dass nur im Sommer Vegetationsvorgänge sich abzuwickeln brauchen, welche einer höheren Temperatur bedürfen, während die Überwinterung gemeinhin in einer jener *ruhenden* Formen

*) Ich erinnere an die nächtliche Eisbildung in der Sahara. Vergl. J. Tyndall: Die Wärme etc., deutsche Ausgabe, 1867, p. 493.

**) Einige bei uns winterschlafende Tiere halten in der Nähe der Tropen ihren Schlaf in der trockenen Zeit, die unserm Sommer entspricht.

stattfindet, deren ausserordentliche Unempfindlichkeit gegen niedere Temperaturen wir in der vorigen Vorlesung kennen gelernt haben.

Einzelne sehr harte Pflanzen setzen zwar den Winter hindurch einen Teil ihrer vegetativen Prozesse fort, blühen sogar vielleicht und benutzen wenigstens die milderen Tage, wie z. B. die einheimischen immergrünen Gewächse, Epheu, Stechpalme, Sinngrün und die meisten Nadelhölzer*) — manche thun dies nur gelegentlich, wie die Wiesengräser, die Brombeeren — zur Produktion von organischer Substanz. — Allein weitaus die grössere Menge der Pflanzen überwintert in Form eines völlig ruhenden Gewebes; die einjährigen in Form des so sehr gegen Kälte unempfindlichen Samens; die mehrjährigen in Form einer differenzierten Pflanze, an der jedoch alle stark vegetierenden Organe fehlen. So sehen wir die meisten höheren grünen perennierenden Gewächse im Herbste ihre Blätter abwerfen, während die Knospen, aus denen im Frühjahr neue Triebe und Blätter sich entwickeln sollen, in ruhendem und darum unempfindlichem Zustande den Winter verbringen.

Ähnlich diesem Verhalten der in unserm Klima gedeihenden Pflanzen ist das der in noch höheren Breiten heimischen Gewächse, und um so vollkommener ist die winterliche Ruhe der Vegetation, je mehr man sich dem Pole nähert. Wandert man jedoch dem Äquator zu, so ist es schon nach wenigen Schritten auffallend, die Anzahl der im Winter grünenden Gewächse vermehrt zu sehen. Für uns Mitteleuropäer ist bekanntlich der Kontrast am auffallendsten, wenn wir die Alpen überschreiten und in das „immergrüne“ Italien hinabsteigen, wenn auch dort die Vegetation im Winter nicht gerade üppig gedeiht und viele chlorophyllhaltigen Organe nur eben die Fähigkeit haben, den Winter zu überdauern. Weiter südlich verschwindet dann immer mehr der vegetationslose Charakter des nordischen Winters, bis dann endlich wohl gar der Winter zur vegetationsreichsten Zeit wird da, wo die sommerliche Trockenheit der Pflanzenwelt feindlich gegenübertritt, und die immer unbedeutender werdende Temperaturdifferenz nicht mehr in Betracht kommt oder gar günstig wirkt.

Mit diesen Verhältnissen, auf deren Andeutung wir uns hier beschränken können, hängt es dann selbstredend zusammen, dass bei uns der praktische Feldbau wesentlich nur im Sommer getrieben werden kann. Im Winter sehen wir unsere Felder grossenteils leer oder mit Pflanzen bedeckt, die wie die meisten Cerealien auch in den Perioden vegetativer Thätigkeit grosse Kälte ertragen können; aber auch unter diesen Umständen eben nur am Leben bleiben, sich höchstens bestocken, während auch bei ihnen die Zeit des üppigen Wachstums in die wärmere Jahreszeit fällt.

Was nun die Pflanzen betrifft, die einem südlicheren Klima entstammen, nicht an die Unbilden unseres Winters gewöhnt sind, gleichwohl aber von uns angebaut werden, so sind diese entweder einjährige Gewächse, deren Samen über den Winter aufbewahrt und erst ausgelegt werden, wenn keine Rückfälle mehr in den Winter

*) Dass derartige Pflanzen, die auch den Winter hindurch ihre chlorophyllhaltigen Organe in völliger Lebensfrische bewahrten, wegen dieser ausnahmsweisen Fähigkeit auch die Aufmerksamkeit des einfachen Volksverstandes erregten, beweist nichts so sehr als die Worte des naiven Liedes vom Tannenbaum:

„Du grünst nicht bloss zur Sommerzeit,
Nein auch im Winter, wenn es schneit etc.“

zu befürchten sind. Derartige Gewächse wie der Tabak z. B. würden in unserem Klima, ganz sich selbst überlassen, jedenfalls zu Grunde gehen, da die Keimung unter den meisten Umständen viel zu früh eintreten würde. Oder sie sind perennierend und müssen dann durch eigentümliche gärtnerische Vorrichtungen vor grosser Kälte oder wenigstens vor raschem Temperaturwechsel behütet werden. Dergleichen Vorrichtungen sind für die zartesten Gewächse *die geheizten Treibhäuser;* für etwas unempfindlichere *Einbinden mit Stroh, Bedecken mit Matten,* oder *Vergraben der oberirdischen Teile* in die langsamer die Temperatur verändernde und nicht so stark sich erkältende Erde, wie bei den Rosenstöcken.

Hierbei ist nur daran zu erinnern, dass das Einbinden mit Stroh und dergleichen unmöglich denselben Sinn haben kann wie die Kleidung für den Menschen, der Pelz für das Tier, da die Pflanze im grossen und ganzen und namentlich im Winter keine erhebliche Eigenwärme produziert. Eine solche Umhüllung kann nur den Nutzen der Verminderung der Abkühlung durch Ausstrahlung gegen den freien Himmel, welche bei den Pflanzen eine grosse Rolle spielt, und somit der Verhütung einer Temperaturerniedrigung unter die der umgebenden Luft haben und ausserdem vor allzu raschem Temperaturwechsel schützen, der auch (abgesehen von der in der vorigen Vorlesung als antiquiert bezeichneten Anschauung) wegen der Einleitung eines empfindlicheren Vegetationszustandes durch die höhere Temperatur besonders gefürchtet wird.

Dies alles aber sind nur *rein gärtnerische* Maassregeln, die mit dem Feldbau *im grossen* nichts zu thun haben*). Dieser letztere kann sich unmöglich auf derartige mühsame Vorrichtungen einlassen, welche sich nur bei denjenigen Kulturen, deren Produkte verhältnismässig sehr hoch bezahlt werden, rentabel erweisen, sondern er muss sich in der Regel darauf beschränken, den schädigenden Einwirkungen der Kälte durch passende Wahl der Zeit der Aussaat und dergleichen passive Maassregeln zu begegnen, wie er auch während der grössten Trockenheit sich nicht zum Begiessen der dürstenden Pflanzen entschliesst, sondern nur auf indirektem Wege dem Mangel an Wasser vorbeugt.

Eine Methode ist indessen bekannt, vermittelst deren der Landwirt mancher Gegenden seine Gewächse auch im grossen schützt, wenn sie ihm in einer klaren Frühlingsnacht zu erfrieren drohen, — eine Methode, die ihrer Originalität wegen hier eine Erwähnung findet. Um diese vielfach nicht verstandene Maassregel zu begreifen, muss nochmals darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Ausstrahlung gegen den freien Himmel sehr häufig die Ursache ist, dass die Pflanzen bis auf weit niedrigere Temperaturen sich abkühlen als die umgebende Luft. Wir alle wissen, dass nicht bloss die lebenden Pflanzen, sondern alle im Freien befindlichen Gegenstände, die wie sie ein grosses Ausstrahlungsvermögen besitzen und gleichzeitig nur in schlechtleitender Verbindung mit dem grossen Wärmereservoir des Erdbodens stehen, in klaren Nächten bereifen**), während ein in der Luft aufgehängter und vor Strahlung geschützter Thermometer noch mehrere Grade über Null zeigt; und

*) Verhältnismässig einfache Vorrichtungen dieser Art zum Schutz der Reben, besprochen bei Müller-Thurgau: Landw. Jahrb., 1886, p. 554.

**) Vergl. Wells: Theorie des Taus. Bei Tyndall: Die Wärme etc., deutsche Ausgabe, 1867, p. 581.

da wir nach neueren Untersuchungen Grund haben zu der Vermutung, dass wir mit unsern Thermometern, die wir nur schwierig völlig vor den Einflüssen aller Strahlung zu schützen vermögen, die Temperatur der Luft bei Tage erheblich zu hoch, bei Nacht zu niedrig bestimmen*), so kann es um so mehr als festgestellt betrachtet werden, dass die Pflanzen im Freien durch Strahlung sich ganz bedeutend unter die Temperatur der Luft und des Bodens erkälten. Diese Strahlung, welche für Pflanzenblätter als beinahe ebenso gross wie für Kienruss festgestellt werden konnte**), ist es, die selbst innerhalb der Wendekreise im Freien befindliche Gegenstände zu allen Jahreszeiten, wenn nur die Luft trocken und der Himmel heiter genug ist, bis unter den Gefrierpunkt abkühlt, und die auch in den mondhellen Frühlingsnächten unseren Pflanzen so verderblich wird. Sie ist das genaue Gegenstück zu dem Schmelzen von Eis und Schnee in den Polargegenden im Sonnenschein, bei einer Kälte von 20 und mehr Graden unter Null. Mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse wird es uns erst möglich zu begreifen, wie man in *Bengalen* trotz der ständig hohen Lufttemperaturen eine einfache Methode der Eisbereitung hat auffinden können***). Ebenso ist uns darnach verständlich, wie das Volk dem Monde einen Einfluss auf das Erfrieren der Pflanzen zuzuschreiben geneigt ist — eine der gewöhnlichen und verzeihlichen Missdeutungen an sich richtiger Beobachtungen, welche in diesem Falle aber selbst abenteuerliche Theorien über die erkältende Wirkung der Mondstrahlen veranlasst hat.

Das Mittel nun, welches gegen dieses Erfrieren durch Strahlung in der praktischen Landwirtschaft einiger Gegenden†) angewandt wird, ist die Erzeugung eines grossen rauchenden Feuers auf dem Grundstück, dessen Bestand Frostbeschädigungen befürchten lässt. Man hat diese Maassregel, obgleich sie gegenwärtig wenig in Übung ist, zu sehr verschiedenen Zeiten in den verschiedensten Gegenden der Welt angetroffen. Sie war den Römern bekannt, denn Plinius spricht von derselben; sie wurde von den Eingeborenen von Oberperu, den alten Inkas, früher eifrig geübt und wird auch in Frankreich in der Umgegend von Rochelle und Avignon, wie es scheint, regelmässig zum Schutze der Weinberge im Frühjahr angewandt. Auch in den Weinbau treibenden Gegenden Deutschlands ist die originelle Methode früher versucht und namentlich im Anfange unseres Jahrhunderts sogar durch polizeiliche Verordnungen gehandhabt worden††), und in den frostreichen 70er Jahren ist wieder

*) Dies geht u. a. aus der Wägung ganzer Luftsäulen durch barometrische Messungen an Orten verschiedener Höhe hervor; vergl. Rühlmann: Barometr. Höhenmessungen, 1870, p. 87.

**) Compt. rend., T. 80, p. 1357. Die Strahlungskälte durch Pflanzen hervorgebracht, ist oft so gross, dass benachbarte niedriger gelegene Kulturen empfindlicher Gewächse dadurch leiden, dass die Luft von den höheren Feldern nach dem Gesetz der Schwere zu ihnen abfliesst oder auch seitlich verweht wird. Darum erfrieren Kartoffeln leichter neben Klee als neben Brachland. Vergl. in Bezug hierauf Landbouw Cour., 1890, p. 150.

***) J. Tyndall: A. a. O., p. 493.

†) Boussingault: Landw. Centralbl., 1858, I, p. 365; derselbe: Agronomie etc., II, 1861, p. 387—390. Vergl. auch Bastille und de la Loyère: Journ. f. Landw., 1870, Jahresber., p. 240.

††) Vergl. namentlich die umfangreichen Studien über diesen Gegenstand bei Müller-Thurgau: Landw. Jahrb., 1886, p. 555—609.

eine Agitation für dieselbe ins Leben getreten. Auch in Holland werden wohl zuweilen Buchweizenkulturen, die bekanntlich sehr dem Frostschaden ausgesetzt sind, auf diese Weise geschützt. Man macht in klaren Nächten Feuer aus feuchtem Stroh, Torfabfällen u. dergl., noch besser unter Zusatz von Teer, und sorgt namentlich in den Morgenstunden vor Sonnenaufgang, wo die Abkühlung durch Ausstrahlung ihr Maximum erreicht, dafür, dass der Rauch recht dicht über das Feld hinzieht. Dass dies Mittel nicht etwa ein abergläubischer Gebrauch, sondern in der That wirksam ist, dafür sprechen die in Frankreich und anderwärts angestellten vergleichenden Versuche mit nebeneinander liegenden Feldern, von denen die einen überräuchert wurden, die andern nicht, ganz entschieden. Der Schutz der überräucherten Weinberge war in vielen Fällen vollkommen, während die jungen Triebe der Weinstöcke in der Umgebung sich erfroren zeigten.

Offenbar wäre es nun ganz und gar thöricht, diesen Schutz auf die Wärme zurückzuführen, welche durch das Feuer erzeugt wird. Dieselbe kann ja nur ganz unbedeutend sein. Dagegen sehen wir von allen Seiten hervorgehoben, dass *starker Rauch* erzeugt werden müsse, und so kommen wir zu der Überzeugung, dass der Rauch bei der Operation *wesentlich* ist. In der That haben die Inkas, welche die Hochebenen von Oberperu 6—12000 Fuss über dem stillen Ocean bewohnten und gerade wegen dieser grossen Höhe trotz der Nähe des Äquators das ganze Jahr mit Nachtfrösten zu schaffen hatten, schon genau die Art erraten, wie die geschilderte Maassregel zu schützen vermag. In einem Buche über Peru, das der Inka Garcilaso de la Vega*) geschrieben hat, heisst es über den in Rede stehenden Gebrauch:

> „War dann bei einbrechender Nacht der Himmel klar, so verbrannten die Peruaner Mist, um Rauch zu erzeugen, ein jeder in seinem Gehege, denn sie sagten, der Rauch wirke wie eine Wolkendecke und halte den Frost ab.“

Das, was hier die praktische Erfahrung seit alter Zeit lehrte, wurde in der neuesten Zeit durch die wichtigen Versuche von Tyndall**) uns völlig begreiflich, indem wir durch diese die Abhängigkeit der Durchstrahlbarkeit der Luft für dunkle Wärmestrahlen, um die es sich hier handelt, von der Beimischung sehr kleiner Mengen verschiedenartiger Dämpfe kennen gelernt haben. Tyndall hat gezeigt, dass die Durchwärmbarkeit der Luft (Durchstrahlbarkeit für die wenig brechbaren dunkeln Wärmestrahlen), die für das reine und trockene Gemisch von Sauerstoff und Stickstoff ganz vollkommen ist, sehr bedeutend vermindert wird, wenn ihr andere leichter zu verdichtenden Gase, wie Kohlenoxyd, Kohlensäure, in höherem Maasse aber, wenn ihr Schwefelwasserstoff, Sumpfgas, schweflige Säure, ölbildendes Gas, Ammoniak beigemischt werden.

Das gleiche Resultat zeigte eine grosse Reihe von ätherischen Ölen, nur dass von diesen schon unwägbare Spuren genügten, welche die Luft beim Hinwegstreichen über ein mit dem betreffenden Öle getränktes Papier in sich aufnehmen konnte, um die Durchwärmbarkeit des Gasgemisches auf einen geringen Bruchteil der ursprünglichen zu reduzieren; und es ist möglich, dass sich manche Pflanzen durch das

*) Landw. Centralbl., 1858, I, p. 368.

**) J. Tyndall: Die Wärme etc., deutsche Ausgabe, 1867, p. 408—587.

Abgeben von solchen flüchtigen Körpern, welches sich auch durch das Duften derselben zu erkennen giebt, vor Frostschaden zu schützen wissen. Auch das Ozon erwies sich, reiner Luft beigemengt, als ein sehr kräftiges Mittel, schon in unmessbaren Mengen die Absorption der dunkeln Wärmestrahlen bedeutend zu erhöhen.

Was aber für unsern Zweck die grösste Wichtigheit hat, ist die Entdeckung, dass auch der Wasserdampf*), welcher in der Atmosphäre unserer Erde eine so hervoragende Rolle spielt, in den gewöhnlichen Mengen dem Gemisch von Stickstoff und Sauerstoff beigemischt, die 70fache Absorptionsfähigkeit zeigen kann als diese. Die Folgerungen dieser wichtigen Entdeckung für die Meteorologie und alle ihr verwandte Wissenschaften sind, wie Tyndall selbst hervorhebt, unberechenbar. Die dunsterfüllte Atmosphäre leistet für die Erde den Dienst eines nur einseitig wirkenden Schirms oder eines „Widerhakens" für die Sonnenstrahlen, wie sich Tyndall ausdrückt, welcher sie in der Zeit, wo jene nicht von der Sonne beschienen wird, in äusserst wirksamer Weise vor einer Ausstrahlung schützt, die sonst alle lebenden Wesen mit voller Sicherheit dem Tode des Erfrierens überliefern würde. Eine Menge klimatischer und meteorologischer Erscheinungen werden plötzlich bei Berücksichtigung dieser merkwürdigen Eigenschaft der wasserdampfhaltigen Luft erklärt, so dass ich lebhaft bedaure, diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen zu dürfen. — Die einseitige Wirkung der wasserreichen Luft oder einer Wolkenschicht besteht also darin, die Wärmestrahlen der Sonne ziemlich vollkommen durch sich hindurch zur Erde gelangen, umgekehrt aber die Wärmestrahlen der Erde nicht in den Weltraum zurückkehren zu lassen, und beruht auf der Absorption der dunkeln Wärmestrahlen in einer solchen Schicht, während sie für leuchtende sehr durchlässig sein kann.

Wir entnehmen den interessanten Resultaten der Tyndall'schen Untersuchungen für unsere Zwecke die Thatsache, *dass sehr geringe Mengen flüchtiger Stoffe*, namentlich organischer Verbindungen, in noch wirksamerer Weise wie der Wasserdampf, *der Luft ihre Durchwärmbarkeit zu nehmen vermögen*, und machen von derselben die Anwendung, dass der thatsächliche Schutz, den die Erzeugung von Rauch oberhalb eines (durch Strahlung in den leeren Weltraum sich abkühlenden) Grundstücks gewährt, *jedenfalls darauf zurückgeführt werden muss, dass in dem Rauch* einer feuchten, nur halb verbrennenden, teilweise der trockenen Destillation ausgesetzten, organischen Substanz, ausser dem schon an sich nützlichen Wasserdampfe, *eine grosse Menge von flüchtigen und unflüchtigen Stoffen vorhanden sind,* denen ohne allen Zweifel die erläuterte Wirksamkeit zukommt. Der Zweck jenes uns zuerst so befremdenden Verfahrens besteht also wesentlich darin, dass man den Schirm der wasserdampfhaltigen Luft, der im gegebenen Falle nur höchst unvollkommen wirkt, durch künstliche Mittel zu verstärken sucht. In Übereinstimmung hiermit sehen wir denn auch das Verfahren vorzüglich da angewandt, wo jener Schirm sehr unzureichend ist, also in den hochgelegenen Gegenden von Oberperu, wo die schützende atmosphärische Schicht eine verhältnismässig dünne ist und die Wolkenschicht, die von weit grösserer Wirksamkeit ist als die klare wasserdampfhaltige Luft, meistens fehlt.

Auch in diesem Beispiele liegt wieder eine Lehre für den Hochmut der Theorie, mit dem diese häufig an in der Praxis übliche, aber für sie noch nicht in ihrer

*) A. a. O., p. 474—489.

Zweckmässigkeit begreifliche Maassregeln herantritt. So schildert Wells, wie er anfangs über die Mittel der Gärtner, zarte Pflanzen vor dem Frost zu schützen, gelächelt habe, da es ihm ganz unmöglich schien, dass eine dünne Matte Schutz gewähren sollte, und wie er nachher durch das Experiment gefunden habe, dass schon ein Batisttaschentuch Erhebliches in dieser Richtung zu leisten vermöge. Ein ähnliches absprechendes Urteil ist man geneigt, in Bezug auf den Rauch als Frostschutzmittel zu fällen.

Wir haben sodann von einer Abhängigkeit der Vegetation von Wärmeverhältnissen zu reden, soweit sie nämlich das verschiedenartige Gedeihen einer und derselben Pflanze *innerhalb* ihrer gleichfalls durch Wärmeverhältnisse bedingten Vegetationsgrenze betreffen. Es ist eine unleugbare Erfahrung, dass der Vegetationsprozess einer Pflanze mit um so grösserer Raschheit sich abwickelt, d. h. dass z. B. ein einjähriges sommerliches Gewächs um so rascher zur Reife gelangt, je höher die Temperatur desjenigen Ortes ist, an dem sie angebaut wird. Man hat sogar und mit anscheinendem Erfolge versucht, diese Abhängigkeit mathematisch zu formulieren*). Man summierte die Anzahl der Vegetationstage, derjenigen Tage, die zwischen Aussaat und Reife liegen, für die einzelnen Gegenden und multiplizierte diese Summen mit den Durchschnittstemperaturen der einzelnen Tage für dieselbe Gegend und erhielt so Zahlen, die man als „*Wärmesummen*" bezeichnete. Eine mathematisch ausdrückbare Gesetzmässigkeit sollte nun nach der Auffassung einiger darin bestehen, dass diese Wärmesummen für die verschiedensten Orte bei einer und derselben Pflanzenart einander gleich sind; d. h. also die Vegetationszeit einer und derselben Pflanze sollte an verschiedenen Orten sich umgekehrt proportional verhalten dem dort herrschenden mittleren Temperaturgrade.

Boussingault**) macht z. B. für die Weizenkultur an verschiedenen Orten folgende Angaben:

	Dauer der Kultur	Temperatur	Wärmesummen
Elsass	137 Tage	15° C.	2055
Paris	160 „	13,4°	2144
Alais (Frankreich)	146 „	14,4°	2102
Kingston (Nord-Amerika)	122 „	17,2°	2098
Cincinnati (Nord-Amerika)	137 „	15,7°	2151
Quinchuqui (tropisch Amerika)	181 „	14,0°	2534
Turmero (tropisch Amerika)	92 „	24,0°	2208
Mühlhausen (Thüringen)	176 „	11,14°	1960.

Dergleichen Berechnungen hat Boussingault nun für eine Reihe von Kulturgewächsen ausgeführt, und in vielen Fällen ist die erzielte Übereinstimmung ebenso befriedigend; bei den *Kartoffeln* freilich nicht, wo die Wärmesumme für Alais 3228,

*) Vergl. Boussingault: a. a. O., p. 436.

**) Ebenda; doch finden sich daselbst Rechenfehler, die hier korrigiert worden sind. — Auf ähnliche Weise haben auch andere Forscher Berechnungen angestellt; vergl. H. Hoffmann: Grundzüge der Klimatol., 1858, p. 523 u. f. Siehe auch H. Krutzsch: Chem. Ackersmann, 1865, p. 89, u. Jahresbericht für Agrikulturchemie, 1855, p. 70, besonders 73—74.

für Mühlhausen in Thüringen nur 2078 beträgt. Immerhin kann aus den berechneten Zahlen geschlossen werden, dass der Vegetationsprozess um so schneller verläuft, je höher innerhalb gewisser Grenzen die Temperatur steigt.

Trotzdem muss aber mit voller Bestimmtheit die von Boussingault gezogene Schlussfolgerung, dass eine Pflanze unter allen Umständen zur Vollendung ihres Kreislaufs gleiche *Wärmemengen* notwendig hätte, als auf einer Reihe von unzulässigen Voraussetzungen beruhend zurückgewiesen werden, und es muss dies mit um so grösserer Energie geschehen, als sich leicht neue Trugschlüsse an diese Vorstellung anknüpfen. Es genügt für unseren Zweck, darauf hinzuweisen, dass unsere Methode, Temperaturen auszudrücken, eine *rein willkürliche* ist, dass man bei Gebrauch der Fahrenheit'schen Grade relativ ganz andere Wärmesummen und ausgehend vom absoluten Nullpunkt sogar Wärmesummen erhalten haben würde, die ungefähr der Vegetationsdauer proportional, also höchst ungleich geworden wären. Ausserdem entspricht offenbar die Höhe der Temperatur durchaus *nicht dem Empfangen einer gewissen Wärmemenge*, welch' letzterer Ausdruck dann wieder leicht die irrtümliche Vorstellung erweckt, als leiste die Wärme bei der Vegetation eine Arbeit. Endlich entspricht ja auch die Vollendung einer Vegetationsperiode durchaus nicht einer gleichen Produktion an Pflanzensubstanzen*).

Kurz jene Abhängigkeit des Verlaufs der Vegetationserscheinungen von der Temperatur zugestehend, kann die Übereinstimmung der Wärmesummen**) da, wo sie wirklich und ohne willkürlich an den Zahlen zu korrigieren festgestellt ist, nur als ein (theoretisch wenig wertvolles) empirisches Gesetz angesehen werden. Nur für einzelne bestimmt zu umschreibende Vegetationsprozesse haben die Wärmesummen einer etwas schärferen Kritik standgehalten, wie sie für solche Fälle theoretisch auch durchaus wahrscheinlich sind. Das Entfalten von Knospen an Bäumen z. B. scheint in jedem Jahre im gemässigten Klima dann zu erfolgen, wenn nach Neujahr eine gewisse für jede Baumsorte feststehende Summe von Temperaturgraden erreicht ist.

So wurde z. B. festgestellt, dass die folgenden Bäume in den botanischen Gärten von Giessen und Upsala blühten***):

	Upsala	bei einer Wärmesumme von	Giessen	bei einer Wärmesumme von
Betula alba	20. Mai	1142°	7. April	1187°
Prunus avium	22. „	1168°	5. „	1136°
„ padus	20. „	1298°	12. „	1279°
Syringa vulgaris	14. „	1580°	30. „	1550°,

wobei also die jeweils nötigen Wärmesummen eine befriedigende Übereinstimmung zeigen.

*) Vergl. in dieser Hinsicht die Bemerkungen Hellriegel's über die Durstpflanzen: Landw. Centralbl., 1871, II, p. 196; und ebenso die von R. Weber festgestellte Thatsache, dass Bäume, welche kleinere Wärmesummen empfangen, kleinere Blätter entwickeln: Allgem. Forst- und Jagdzeitung, 1875, p. 221.

**) Vergl. auch die Bemerkungen H. Hoffmann's: A. a. O., p. 529.

***) Botan. Centralbl., XXII, p. 110.

Hier haben wir es aber bloss mit einer Verarbeitung von bereits vorhandenem aufgespeichertem Stoffe zu thun, und die sich vollziehenden Prozesse werden im wesentlichen auf eine Reihe von Atmungsvorgängen hinauslaufen, deren proportionale Abhängigkeit von der Temperatur über Null wir ohnedem früher kennen gelernt haben.

Mit dieser Betrachtung der Abhängigkeit der Vegetationserscheinungen von den Wärmeverhältnissen ist eigentlich unsere Untersuchung über die Bedingungen des Gedeihens der Pflanzenwelt, mit denen wir uns in diesem ersten Teil unserer Vorträge beschäftigen wollten, als beendigt anzusehen; doch haben wir noch vor dem endgültigen Abschluss dieses Teils eine Anzahl von Bemerkungen zu machen, teils um den Einfluss einer schon abgehandelten Vegetationsbedingung zu erweitern, teils um *die Unabhängigkeit* des Pflanzenwachstums von manchen Verhältnissen, die auch wohl gelegentlich als Vegetationsbedingungen angesehen worden sind, nachzuweisen. Ich kann in Bezug auf diese Gegenstände sehr kurz sein.

Wir haben gleich bei Beginn unserer Betrachtungen in den ersten Vorlesungen die hohe Bedeutung des Sonnenlichts für das Pflanzenleben kennen gelernt. Das Sonnenlicht ist nicht allein eine der Grundbedingungen des Entstehens jenes wichtigen Apparats, der chlorophyllhaltigen Zelle, und in allen Fällen die zur Produktion von organischer Substanz geradezu unentbehrliche arbeitende Kraft; es übt auch noch andere Einflüsse auf die Pflanzenwelt aus, von denen man auch sagen kann, dass sie nicht von den Gewächsen würden entbehrt werden können. Diese Einflüsse konnten damals, wo von jener hervorragenden Bedeutung des Lichts ausführlich die Rede war, nicht wohl zweckmässigerweise besprochen werden; und auch hier werde ich mich auf Andeutungen zu beschränken haben, da die Gegenstände eine befriedigende theoretische Bearbeitung noch kaum erfahren haben und auch weitere praktische Folgerungen aus denselben nicht wohl gezogen werden können.

Eine hierhergehörige Thatsache haben wir schon einmal kurz berührt. Es musste bei der Betrachtung von bei Ausschluss von Licht erzogenen Pflanzen sogleich auffallen, dass diese abnorm gebildeten Pflanzen, ausser dem Mangel der grünen Färbung, deren Ausbleiben nach den uns damals schon bekannten Bedingungen der Ausbildung des Chlorophyllorgans erwartet werden konnte, auch noch eine von der gewöhnlichen sehr abweichende Gestaltung aller ihrer oberirdischen Organe zeigten. Es genügt also, eine etiolierte Pflanze nur ganz obenweg zu betrachten, um noch auf eine andere Wirkung des Lichts auf die Vegetation aufmerksam zu werden, auf die *formbildende Wirkung* desselben.

Diese Wirkung des Lichts auf die Formbildung der Pflanzen, die vorzugsweise an chlorophyllhaltigen Pflanzen beobachtet wurde, ist sehr mannigfacher Art. Das Aussehen der etiolierten Pflanze lehrt, dass der Ausschluss des Lichts auf noch im Wachstum begriffene Organe in zwei Richtungen einwirkt. Die Pflanze wird um das Mehrfache länger als unter gewöhnlichen Umständen, und die grünen Laubblätter zeigen eine viel unbedeutendere Flächenausdehnung. Die erstere Abänderung wird auch bei vielen nichtgrünen Pflanzen beobachtet, und es hat daher die Theorie

der verkürzenden Wirkung des Lichts jedenfalls nichts mit dem Assimilationsprozesse zu thun. Im übrigen müssen wir es gänzlich unterlassen, die Art und Wirksamkeit des Lichts zu erörtern, da die Wachstumserscheinung an sich so viel Rätselhaftes birgt, dass vorerst keine Hoffnung vorhanden ist, die Veränderungen dieser Wachstumserscheinungen beim Wechsel der äusseren Bedingungen zu begreifen. Das Fehlen der Spannungserscheinungen an allen bei Ausschluss des Lichts sich entwickelnden Organen scheint ferner für die vergeilten Organe charakteristisch zu sein, und hierin liegt jedenfalls ein für spätere Erklärungsversuche beachtenswerter Punkt, da Spannung und Wachstum ohnedies in genauer Beziehung zu einander zu stehen scheinen. Der durch Betrachtung der etiolierten Pflanze sich ergebende Einfluss des Lichts auf die Formbildung der Pflanze würde vorläufig dadurch ausgedrückt werden können, dass man sagt, er verleihe den grünen Organen eine gedrungenere, breitere Gestaltung, ein kräftigeres, stärker verholztes und gespannteres Gewebe.

Ein weiterer Einfluss des Lichts auf die Gestaltung der Pflanze ergiebt sich aus Beobachtungen, die man nicht an völlig vom Lichte abgeschlossenen Exemplaren anstellen kann, wohl aber an solchen, die ein wenn auch schwaches Licht vorzugsweise von einer einzigen Seite her erhalten. Bei solchen Pflanzen zeigt sich in der Regel eine Biegung der oberirdischen Organe nach dem Lichte zu — eine Wirkung, welche nur durch relative Verkürzung der dem Lichte ursprünglich zugekehrten Stengelseite, resp. durch einseitige Verlängerung der entgegengesetzten Seite herbeigeführt werden kann. Ganz ähnliche Beobachtungen macht man bekanntlich an im vollen Lichte stehenden Pflanzen, wenn sie, wie dies ja auch in der Natur immer der Fall sein muss, von verschiedenen Seiten ungleich stark beleuchtet werden. Pflanzen, die am Fenster stehen, wenden, wie man täglich beobachten kann, ihre grünen Organe dem Lichte zu, und zumal der Stiel eines jeden Blattes zeigt diesen Mechanismus. Auch bei Gewächsen im Freien kann das Gleiche beobachtet werden, nämlich Einstellung der chlorophyllhaltigen Organe gegen den Mittagsstand der Sonne u. s. f. Bei manchen Pflanzen geht die Vollkommenheit des in Rede stehenden Mechanismus so weit, dass die grünen Organe eine tägliche Drehung, entsprechend dem verschiedenen Stand der Sonne, zeigen.

Wir wollen uns hier nicht mit der Aufstellung einer Theorie der beschriebenen Ercheinung befassen und allein von dem Nutzen sprechen, den dieselbe für den pflanzlichen Organismus haben kann. In ersterer Beziehung möge nur die Andeutung hier einen Platz finden, dass einige Aussicht vorhanden ist, den positiven Heliotropismus auf dieselbe Weise zu erklären wie die Längsstreckung wachsender Organe bei Lichtmangel, insofern nämlich die dem Lichte zugekehrte Seite des heliotropischen Organs durch relative Verkürzung die Bewegung veranlasst. Man kann also nach dem Vorgang Decandolle's einfach ein schnelleres Wachstum der Seite, die weniger Licht empfängt, annehmen, wodurch diese eine Thatsache auf jene andere zurückgeführt wäre*). Der *positive Heliotropismus,* wie wir die eben besprochene Erscheinung, bei der die Seite des vom Lichte getroffenen Organs relativ verkürzt wird, nennen, hat offenbar für eine chlorophyllhaltige Pflanze, die an einem ziemlich

*) Vergl. p. 269 dieses Lehrbuchs.

düstern, für das Leben einer solchen Pflanze nicht geeigneten Orte sich befindet, einen bedeutenden Vorteil. Die unter solchen Umständen sich unverhältnismässig in die Länge streckenden und vermöge der heliotropischen Wirkung auf die Lichtquelle zu wachsenden Organe werden der Pflanze mit einiger Wahrscheinlichkeit die Aussicht verschaffen, mit diesen Organen dem düsteren Raume zu entrinnen, dann am Lichte ihr Chlorophyllorgan kräftig zu entfalten und so die Pflanze unter normale Vegetationsverhältnisse zu bringen.

Man wird nun vielleicht sagen, dass diese Vorstellung von den in unsern Kellern aufbewahrten Kartoffeln, die zu keimen beginnen, entlehnt sei, dass es draussen in der Natur keine Verhältnisse gäbe, wo Pflanzen sich in einem dunklen Raume befinden und wo ihre oberirdischen Organe diesem Raume rasch entfliehen können. Allein es ist auf die natürliche Lage der Pflanzen aufmerksam zu machen, da wo der Mensch nicht eingreift und sie in freier Wettbewerbung um ihr Dasein kämpfen und eine die andere zu ersticken und zu überwuchern droht. Die ausgezeichnete Fähigkeit für unter solchen Umständen schwach beleuchtete, von andern überschattete Pflanzen, lange Triebe dem Lichte entgegenzustrecken, ist eine so augenscheinliche Waffe in jenem Kampfe, dass der Vorteil einer solchen Einrichtung auf der Hand liegt. Es ist hier weiter an die im Schosse der Erde keimenden Samen zu erinnern, deren nach oben wachsender Trieb um so rascher sich streckt, je grösser die Dunkelheit ist, in der er sich befindet, so dass der des tiefer liegenden keimenden Samens eine erhöhte Aussicht hat, das Licht der Welt zu erblicken und an der Oberfläche der Erde seiner normalen Vegetationsbedingungen zu geniessen.

Hierbei ist freilich nicht ausser Augen zu lassen, dass schon bei geringer Tiefe unter der Erdoberfläche eine absolute Finsternis herrscht und dass die tiefer liegenden Samen keinen Antrieb zu einem noch rascheren Längenwachstum empfangen. Daher rührt es denn auch, dass die landwirtschaftliche Praxis ein zu tiefes Betten der Samen, obgleich damit immer günstigere Temperatur- und Feuchtigkeits-Verhältnisse erreicht werden würden, durchaus nicht gutheisst. Die Keimlinge kommen, ganz abgesehen von der wachsenden Unwahrscheinlichkeit des Durchdringens, umsomehr geschwächt über die Erde, je tiefer der Same untergebracht war. — In dieser Weise hat man etwa die Vorteile des positiven Heliotropismus für stark wachsende Keimlinge und Schösslinge, die gleichzeitig die Fähigkeit haben, bei Lichtmangel ein unverhältnismässiges Längenwachstum zu zeigen, im allgemeinen aufzufassen.

Von noch unzweideutigerer Nützlichkeit ist der positive Heliotropismus bei nahezu ausgewachsenen grünen Organen. Die Eigenschaft, auf das Licht zu reagieren, kommt vorzugsweise solchen Pflanzenteilen zu, welche — durch die von ihnen infolge des Lichtreizes ausgeführte Bewegung — die Blätter in eine *für ihre Thätigkeit möglichst günstige Lage* bringen. Die Blattstengel neigen, biegen und drehen sich infolge eines hier nicht näher zu erörternden Mechanismus in der Regel so, dass (von einigen Pflanzenarten abgesehen) die Laubblätter ihre Fläche der durchschnittlichen täglichen Beleuchtungsrichtung ziemlich vollkommen darbieten, oder auch wohl, wenn jene Einrichtung in ihrer grössten Vollkommenheit vorhanden ist,

sie ziemlich senkrecht auf den zu einer jeden Tagesstunde einfallenden Strahl einstellen. Dass diese Verhältnisse in mehr oder weniger hohem Grade bestehen, ist aus leicht anzustellenden Beobachtungen von Pflanzen, die an dem Fenster eines Zimmers aufgestellt sind, deutlich zu ersehen, und auch aus der Lage der Blätter irgend eines im Freien befindlichen Gewächses, die fast immer*) eine zur vollständigen Abfangung des Lichts annähernd zweckmässigste ist, kann man das Gleiche erkennen.

So darf an dem bedeutenden Nutzen, den diese weiteren Lichtwirkungen für die grüne Pflanze haben, gar nicht gezweifelt werden und dieselben sind praktisch vielfach aufzufassen als jener ersten und wichtigsten Thätigkeit des Sonnenlichts in der chlorophyllhaltigen Zelle unter die Arme greifend. Es hat, da wir uns mit dem theoretischen Studium der besprochenen Erscheinungen nicht befasst haben, wenig Interesse für uns, zu erfahren, dass auf experimentellem Wege festgestellt werden konnte, dass in diesem Falle nicht den leuchtenden, sondern den mehr brechbaren Strahlen die Hauptwirkung zukomme.

Neben dem positiven Heliotropismus ist nun auch, aber weniger an den unmittelbaren Trägern der grünen Blätter, sondern überwiegend an etwas älteren Gewebspartieen, an schlingenden Stämmen, Ranken und dergleichen ein *negativer Heliotropismus* beobachtet worden, der nach der gegebenen Erläuterung der entgegengesetzten Bezeichnung nichts anderes bedeuten kann als Verlängerung der dem Lichte zugekehrten Seite von pflanzlichen Organen, wodurch eine Abwendung derselben vom Lichte erfolgt. Auch die Nützlichkeit dieses Verhaltens kann in den meisten Fällen leicht eingesehen werden, indem die schlingenden Organe durch den Reiz des Lichtes an den zu umschlingenden Gegenstand sanft angedrückt und so im Festhalten unterstützt werden oder indem die betreffenden Pflanzenteile auf diese Weise in die feuchtere Umgebung der Unterlage gebracht werden. Die Erklärung des Phänomens ist wohl auf einem ganz andern Wege anzustreben als die des positiven Heliotropismus. Dieser stellt jedenfalls die elementarere, häufiger und an den einfachst organisierten Pflanzenteilen auftretende Erscheinung dar, während der negative Heliotropismus vermutlich infolge von noch nicht völlig ausfindig gemachten Komplikationen (z. B. stärkere Verholzung an der Schattenseite) statthat.

Ausser der formbildenden und heliotropischen Wirkung des Lichts, der wir eine kurze Beachtung geschenkt haben, sind nun noch verwickeltere Einwirkungen desselben auf das Pflanzenleben bekannt, die nicht unter diese Gesichtspunkte gebracht werden können und für die man erst langsam beginnt, eine Nützlichkeit einzusehen. Es tritt bei manchen Pflanzen im hinreichend intensiven Lichte ein eigentümlicher Zustand des Gewebes mancher Organe ein, der sie zur Ausführung periodischer Bewegungen, die in ihrer Richtung von den geometrischen Verhältnissen des einfallenden Lichts unabhängig sind und sich auch über die Dauer der Insolation hinaus fortsetzen, befähigt. Dieser Zustand, der die betreffenden Organe zugleich Reizbewegungen zugänglich macht, wird als *„Phototonus“*, der Verlust des-

*) Andere Positionen der grünen Organe sind meistens aus der Zweckmässigkeit des Schutzes gegen Austrocknung oder Strahlung zu erklären.

selben, welcher bei längerem Verweilen im Dunkeln eintritt, als „*Dunkelstarre*“ bezeichnet. Es hat für uns keinen Zweck, näher auf diese geheimnisvollen Erscheinungen einzugehen*).

Im ganzen kann aus der Darstellung dieser Wirkungen des Lichts auf die Pflanze ersehen werden, dass die Beziehungen zwischen Pflanzenleben und Beleuchtung viel kompliziertere sind, als wir nach den zuerst hervorgehobenen Verhältnissen vermuten konnten, aber auch zugleich, dass für die landwirtschaftliche Praxis kaum ein Nutzen aus diesen Erweiterungen der schon von Anfang an erkannten Bedeutung des Sonnenlichtes erwartet werden darf. Dies gilt wenigstens mit Ausnahme gewisser Folgen des Lichtmangels für die Zartheit der geernteten Pflanzen bei der Spargelzucht und einigen anderen Kulturen. — Schon jene ersten Gesichtspunkte liessen das Licht als eine absolut unentbehrliche Vegetationsbedingung erkennen, und daraus wird es uns später möglich sein, wichtige Gesetzmässigkeiten für die Pflanzenproduktion abzuleiten. Die weitere Erkenntnis von nützlichen Wirkungen des Lichts für die Vegetation wird nicht vermögen, der Bedeutung jener Schlussfolgerungen etwas hinzuzusetzen**).

Den letztbehandelten und -genannten Lichtwirkungen nicht unähnliche Einflüsse auf das Pflanzenleben übt die Schwerkraft aus, ein Gegenstand, dessen Erörterung uns aus ähnlichen Gesichtspunkten erspart bleiben mag. Da kein Landwirt in irgend einem Teile der Erde in die Lage kommen kann, bei wesentlich abgeänderter Schwere Pflanzen zu kultivieren, so hat die Erörterung dieses völlig konstanten, wenn auch unentbehrlichen Moments praktisch keine Bedeutung. Ich beschränke mich bezüglich dieser Einwirkung auf die Andeutung, dass die relative Lage der einzelnen Organe der Gewächse durch eine unerklärte, aber exakt bewiesene Einwirkung der Gravitation (oder auch irgend einer anderen Beschleunigung, wie die der Fliehkraft) auf die molekulare Anordnung der beim Wachstum sich einlagernden Teilchen bewirkt wird, und auf diese Weise die Wurzel bestimmt wird, nach unten, die blättertragenden Stammteile, nach oben zu wachsen — eine Einrichtung, ohne die ebenfalls das Bestehen der Pflanzenwelt kaum gedacht werden kann. Eine Erklärung wird nur möglich sein durch Aufsuchung von spezifischen, chemischen Substanzen, die das Bestreben haben, sich in der Pflanze zu senken oder zu heben; aber hier ist nicht der Ort, sich auf diese Hypothesen einzulassen.

Noch einige anderen Punkte bleiben zu erledigen übrig, welche wesentlich in der *Zurückweisung* noch weiter als solche angesehener Vegetationsbedingungen bestehen.

*) Ausführlicheres über diesen Gegenstand in der Monographie Pfeffer's: Die period. Bewegungen der Blattorgane, 1875.

**) Von einigen Physiologen wird auch ein direkter Einfluss des Lichts auf das Keimen von manchen Gräsern (namentlich Poa-Arten) angenommen und dieser Einfluss scheint nicht ganz auf die periodische Erwärmung, die gleichfalls einen solchen Einfluss äussert, zurückzuführen zu sein, obgleich der Versuch B. Jönssen's (Jakttagelser etc. — Lund 1893), die Wärmestrahlen durch Alaunlösung zurückzuhalten, in dieser Beziehung keinen vollständigen Beweis liefert.

So hat man von der Beziehung *elektrischer Kräfte* zum Pflanzenleben mehrfach viel Wesens gemacht und häufig hat die Annahme des Mitwirkens elektrischer Vorgänge bei den Vegetationserscheinungen den Mangel in der Kenntnis der wirklichen Ursache derselben verdecken sollen.

Es kann in Bezug auf diesen Gegenstand mit einem Worte gesagt werden, *dass bis jetzt kein zwingender Grund vorliegt anzunehmen, dass elektrische Kräfte irgend welche Rolle im Leben der Pflanze spielen;* und alle künstlich herbeigeführten Wirkungen der Elektrizität auf die physiologischen Vorgänge in der Pflanze haben demgemäss sich als diese Vorgänge *beeinträchtigende*, niemals mit Sicherheit als fördernde erwiesen. Es könnte nun hiermit die ganze Sache als erledigt angesehen werden, wenn es sich nicht darum handelte, den eingenommenen Standpunkt den vielfach herrschenden Meinungen gegenüber mit einigen Worten zu verteidigen.

Zunächst mag daran erinnert werden, dass im tierischen Organismus die Elektrizität eine bedeutende, wenn auch vielfach übertriebene, Rolle spielt und dass dies wohl ursprünglich der Grund gewesen ist, nach den elektrischen Erscheinungen in der Pflanze zu fahnden. Jedoch der ganze Apparat, der im tierischen Organismus als der Sitz der elektrischen Erscheinungen angesehen werden muss, konnte in der Pflanze nicht oder nur in entfernten Andeutungen aufgefunden werden. Diese besitzt kein Nervensystem und mit demselben fehlen ihr alle Empfindungs- und auch beinahe vollständig diejenigen Bewegungserscheinungen, deren Anstoss wo anders als in dem bewegten Organe liegt.

Ein eigentlicher elektromotorischer Apparat ist also in der Pflanze unseres Wissens nicht vorhanden, und wenn es gelingt, durch eigentümliche Anordnung abgeschnittener Pflanzenteile galvanische Ströme sehr geringer Intensität*) zu erzeugen, so ist diese Erscheinung wenigstens zum Teil der chemischen Differenz des in leitender Verbindung stehenden Zellsafts verschiedener Gewebeteile (z. B. Parenchym und Gefässbündel) zuzuschreiben und derselben noch keineswegs mit Sicherheit ein Bestehen oder eine grosse physiologische Bedeutung in der normalen Pflanze zuzuerkennen. Es ist freilich nicht mit Bestimmtheit auszusprechen, dass der elektrischen Differenz der durch Membranen getrennten Zellflüssigkeit, die in der Pflanze thatsächlich in sehr geringem Grade besteht, nicht eine nützliche Wirkung bei osmotischen Vorgängen zukommen kann, da wir wissen, dass solche elektrischen Differenzen osmotische Ströme erzeugen können. Allein nachgewiesen ist von dem allen nichts, und höchstens handelt es sich um interne vermittelnde Vorgänge.

Etwas ganz anderes ist die Anwendung der Elektrizität als Untersuchungsmittel in der Pflanzenphysiologie. Als solches kann derselben unter Umständen eine hohe Bedeutung eingeräumt werden. Allein alle elektrischen Einwirkungen haben sich, wie gesagt, als die einzelnen Vegetationsvorgänge schädigend erwiesen. Das sich

*) Vergl. J. Sachs: Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl., p. 83, und über den ganzen Gegenstand: ebenda, p. 74—87. Auch viele wenig gesichtete Thatsachen bei W. Hamm: Das Wesen u. d. Ziele d. Landwirtschaft, 1872, p. 116 u. f. Vergl. ferner W. Velten: Botan. Zeitung, 1876, Nr. 18.

bewegende Protoplasma, von elektrischen Schlägen getroffen, steht still*); die Spaltöffnungen der grünen Organe schliessen sich unter diesem Einflusse. Ebenso verhalten sich die Bewegungsorgane empfindlicher Blätter einem elektrischen Reize gegenüber, wie sie sich gegen irgend eine Störung anderer Art, z. B. eine starke mechanische Erschütterung, verhalten u. s. f. Kurz die Änderungen, welche durch die Elektrizität bewirkt werden, sind genau dieselben, wie sie auch durch starke chemischen Reagentien, abnorme Temperaturen, ungewohnte mechanischen Bewegungen hervorgebracht werden, und so lässt sich einstweilen für unseren populären Zweck die Elektrizität als ein das Pflanzenleben störendes Agens bezeichnen.

Unter den Bedingungen des Pflanzenwachstums werden wir daher vorerst der Elektrizität keinen Platz anzuweisen haben**).

Die Resultate unserer in den beiden letzten Vorlesungen angestellten Betrachtungen lassen sich ungefähr in folgender Form zusammenfassen:

1) Eine jede Pflanze muss zur Vollendung einer jeden einzelnen Lebenserscheinung sich zwischen zwei Grenztemperaturen befinden, jenseits welcher die Erscheinungen aufhören.

2) Das Aufhören aller der bekannten charakteristischen Lebenserscheinungen infolge der Überschreitung jener Grenztemperaturen fällt noch nicht notwendig mit dem Tode der Pflanze zusammen. Wird innerhalb einer gewissen Zeit die erforderliche Temperatur wiederhergestellt, so kehren auch in vielen Fällen jene Lebenserscheinungen wieder zurück.

*) Die Bewegungen des Protoplasmas leiden weit mehr durch Stromschwankungen als durch absolute Stromintensitäten, wie aus angestellten Versuchen hervorgeht.

**) Es ist deshalb von einiger Wichtigkeit, diesen Satz auszusprechen, weil man nicht bloss der Elektrizität direkt neben Wärme und Licht einen Platz in der Pflanzenphysiologie eingeräumt hat, sondern auch Mitteilungen in wissenschaftlichen Zeitschriften abgedruckt worden sind, nach welchen durch die Erzeugung eines elektrischen Stroms in dem Umkreis eines Grundstücks bedeutende Ertragssteigerung bewirkt worden sein soll (vergl. Helmert: Jahresber. f. Agrikulturchem., 1859—1860, p. 172; J. Fichtner u. Söhne: ebenda, 1861—1862, p. 284), und weil in manchen Lehrbüchern der Agrikulturchemie ebenso Erstaunliches über die Wirksamkeit der Elektrizität auf den Vegetationsprozess zu lesen war; vergl. z. B. das Göbel'sche, p. 176. Vergl. ferner Krutzsch: Bodenkunde, 1847, p. 207. In neuester Zeit ist Grandeau (Compt. rend., B. 87, p. 60) ein Vertreter des Einflusses der atmosphärischen Elektrizität auf die Pflanzenwelt geworden. Doch scheinen mir auch seine Versuche nicht beweiskräftig genug für einen so wichtigen Gegenstand. Auch die ganz neuen Versuche von Holdefleiss sind einer Wiederholung bedürftig (vergl. Biederm. Ratgeber, 1885, p. 102), und selbst wenn das Resultat wiederholt positiv ausfallen sollte, ist zunächst mehr an eine Wirkung der Elektrizität auf die Nährstoffe im Boden zu denken als an einen direkten Einfluss auf das Pflanzenwachstum selber. Vergl. E. Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrik.-Phys., 1888, p. 88. Daselbst Litteraturübersicht.

3) Beim Gefrieren der Pflanzen findet Ausscheidung von Eis in den intercellularen Räumen statt, wodurch die Zellsäfte konzentriert werden und zuweilen ein nachteiliges Zerreissen des Gewebes stattfindet. Die Erscheinung braucht nicht den Tod nach sich zu ziehen.

4) Der Tod der Pflanzen infolge zu niedriger Temperaturen, Erfrieren derselben, tritt erst bei solchen Temperaturen unterhalb Null ein, dass sich Eisbildung in der Pflanze nachweisen lässt, ist indessen nicht allein von der Eisbildung, sondern auch von der mehr oder weniger grossen Ausdehnung derselben und ausserdem auch abhängig von der noch nicht erklärten spezifischen Widerstandsfähigkeit des Protoplasmas. Derselbe ist zu erklären aus der Änderung der Konstitution der Zellsäfte durch den Wasserverlust.

5) Der Tod der höheren Pflanzen infolge von hohen Temperaturen tritt im vegetativen Zustande meistens zwischen 50 und 60° ein. Niedere Pflanzen sind z. T. und namentlich gegen Frost unempfindlicher.

6) Trockene Pflanzenteile, in denen nur ein potentielles Leben besteht, wie die Samen, sind gegen Kälte und Hitze sehr unempfindlich und können häufig ohne Nachteil bis nahe an oder selbst über den Kochpunkt des Wassers erwärmt werden; erfrieren können sie meistens nicht.

7) Der Rauch ist ein beachtenswertes Frostschutzmittel.

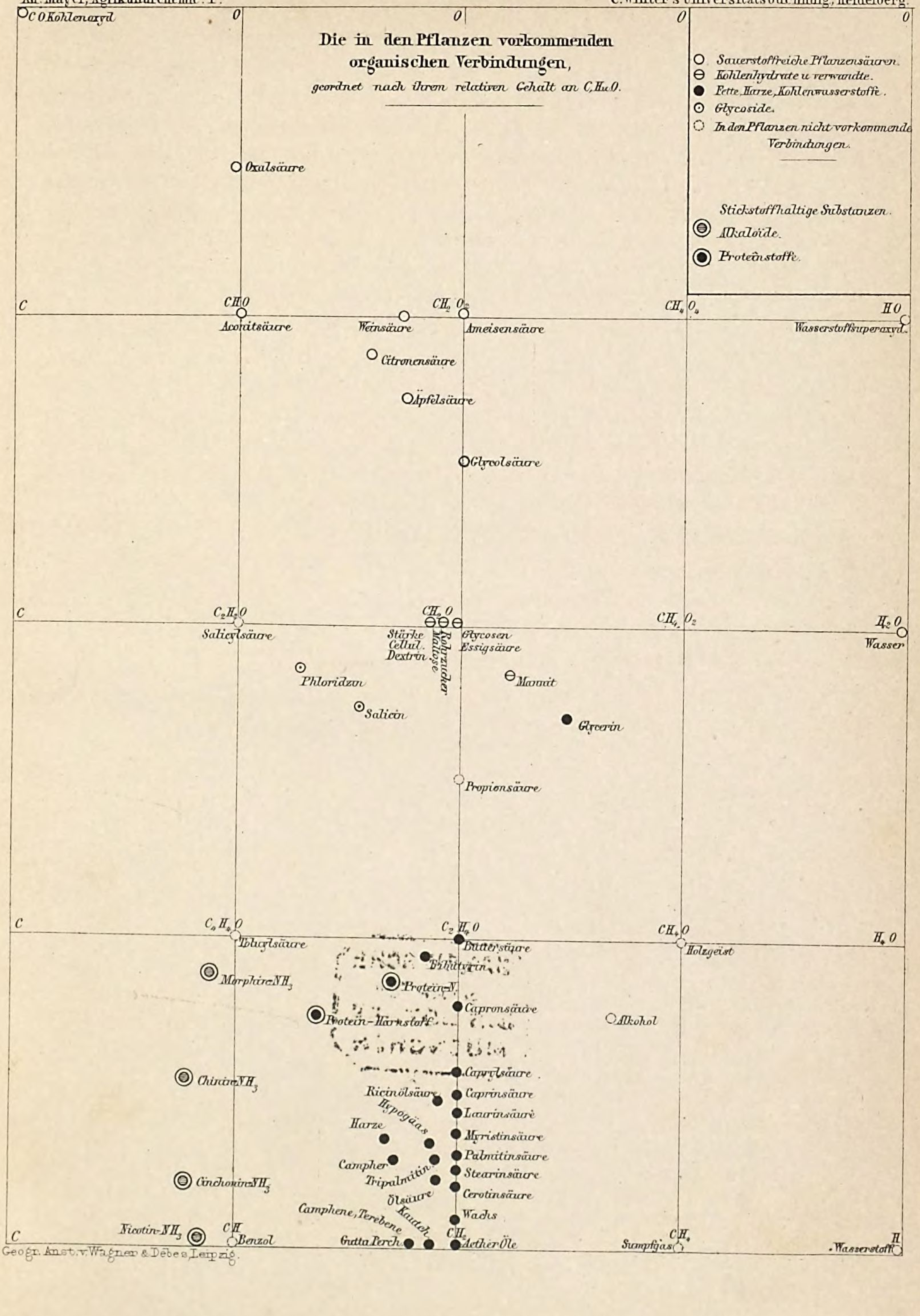
8) Die Wärmesummen haben keine allgemeine Bedeutung für die Vollendung des Kreislaufs der Vegetation, sondern nur für einzelne Vegetationsprozesse.

9) Dem Lichte kommt ausser der Thätigkeit in der chlorophyllhaltigen Zelle noch eine Reihe von anderen nützlichen Wirkungen auf die Pflanze zu.

10) Elektrische Kräfte befinden sich, soviel man weiss, nicht unter den äusseren Vegetationsbedingungen.

BAYERISCHE STAATS-BIBLIOTHEK MUENCHEN

C. F. Winter'sche Buchdruckerei.



Geogr. Anst. v. Wagner & Debes, Leipzig.

1500,51

In Carl Winter's Universitätsbuchhandlung in Heidelberg sind von dem **gleichen Verfasser** erschienen:

Die Lehre von den chemischen Fermenten oder Enzymologie. Auf Grund von vorhandenen und eigenen Versuchen bearbeitet. Lex. 8°. Brosch. 4 M.

Untersuchungen über die alkoholische Gärung, den Stoffbedarf und den Stoffwechsel der Hefepflanze mit Berücksichtigung des neuesten Liebig'schen Einwurfs gegen die Pasteur'schen Anschauungen für Chemiker, Pflanzen-Physiologen und Wein-Produzenten. Mit 1 Holzschnitt und 7 lithogr. Tafeln. Gr. 8°. Brosch. 3 M.

Die Kunstbutter, ihre Fabrikation, ihr Gebrauchswert, nebst Mitteln, ihren Vertrieb in seine Grenzen zurückzuweisen. Mit 7 Holzschnitten. 8°. Brosch. 1 M. 20 Pf.

Düngung und Fütterung in chromographischer Darstellung. 7 Tafeln und Text. 2. Ausgabe. Gr. 8°. Brosch. 1 M. 60 Pf.

Das Düngerkapital und der Raubbau. Eine wirtschaftliche Betrachtung auf naturwissenschaftlicher Grundlage. 8°. Brosch. 1 M. 20 Pf.

Welche Methoden der Städtereinigung sind im Allgemeinen und in Sonderheit für die Verhältnisse des Großherzogtums Baden empfehlenswert? 8°. Brosch. 60 Pf.

Die Quellen der wirtschaftlichen Arbeit in der Natur. Ein Vortrag. 2. Ausgabe. 8°. Brosch. 60 Pf.

Zur Begründung von Schutzzöllen, in Sonderheit für die Landwirtschaft. Neue Gesichtspunkte. Gr. 8°. Brosch. 1 M. 20 Pf.

Ferner sind erschienen:

Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik. (Centralblatt für Bodenphysik, Pflanzenphysik und Agrar-Meteorologie.) Herausgegeben von **Dr. E. Wollny,** Professor an der königl. technischen Hochschule in München.

Die Forschungen erscheinen in zwanglosen Heften, von denen je fünf einen Band oder Jahrgang von ca. 30 Druckbogen bilden. Erschienen sind bis jetzt 17 Bände, von denen Band I. 1878. 15 M., Band II. 1879. 19 M., Band III. 1880. 18 M., Band IV. 1881. 21 M., Band V. 1882. 22 M., Band VI. 1883. 25 M., Band VII. 1884. 22 M., Band VIII. 1885. 22 M., Band IX. 1886. 21 M., Band X. 1887. 21 M., Band XI. 1888. 21 M., Band XII. 1889. 24 M. kostet. ☞ Bei Abnahme der ersten zwölf Jahrgänge zusammen beträgt von jetzt ab bis auf Widerruf der Preis statt **251 Mark nur 170 Mark.** Band XIII. 1890. 25 M., Band XIV. 1891. 22 M., Band XV. 1892. 23 M., Band XVI. 1893. 24 M., Band XVII. 1894. 24 M.

„Die Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik gehören zu jenen periodischen Werken, welche Jedem, der sich wissenschaftlich mit landwirtschaftlichen Dingen beschäftigt, unentbehrlich geworden sind und genügt dieser gewiss allgemein gebilligte Ausspruch vollständig, um den Wert des Unternehmens zu kennzeichnen." (Allgem. Weinzeitung.)

„Unter Mitwirkung von 38 der namhaftesten Forscher Europas und Nordamerikas ist es dem verdienstvollen Herausgeber gelungen, diese Zeitschrift zu einem wahren Centralorgan für die Fortschritte auf dem Gebiete der Agrikulturchemie zu erheben. (Wiener allg. Zeitung.)

Die Kultur der Getreidearten mit Rücksicht auf Erfahrung und Wissenschaft. Von Dr. E. Wollny, Professor der Landwirtschaft an der königl. technischen Hochschule in München. 2. Ausgabe. Mit 19 Holzschnitten. Gr. 8°. Brosch. 5 M., Geb. 6 M.

Ueber den Einfluss des Klimas auf die Bildung und Zusammensetzung des Bodens. Nach einem an das meteorologische Bureau des Ackerbauministeriums der Ver. Staaten gerichteten Bericht übersetzt und neu bearbeitet von Dr. Eugen Hilgard, Professor der Agrikulturchemie an der Staatsuniversität von Californien und Director der Californischen Versuchsstation. Gr. 8°. Brosch. 2 M.

C. F. Winter'sche Buchdruckerei.

14[illegible]

Albert Boser
Buchbinderei
München.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Mayer, Adolf,

Lehrbuch der Agrikulturchemie in Vorlesungen

Bd.: 1

Heidelberg 1895

Chem. 225 rbd-1
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11582192-6